

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І ГОСПОДАРСТВА

**КОРОТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
З КУРСУ «ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ»**

для студентів 1-го курсу

інженерно-технічного факультету

(«Інженерна геодезія» для студентів базового напрямку 192 «Будівництво та цивільна інженерія»)

УЖГОРОД
2019

Каблак Н.І. Короткий конспект лекцій з курсу «Інженерна геодезія»
Ужгород.: УжНУ, 2019.

Рецензенти:

Хархаліс М.Р. – доцент кафедри МБГ ІТФ, к.ф.-м.н.

Різак В.В. - доцент кафедри МБГ ІТФ, к.т.н.

Рекомендовано до друку. Протокол № 2 від 19 листопада 2019р.

Тема №1
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ГЕОДЕЗІЇ

1. Предмет і задачі геодезії
2. Короткий нарис історії геодезії
3. Поняття про форму і розміри Землі
4. Системи координат і висот
5. Проекція Гауса-Крюгера. Зональна система координат
6. План. Карта. Масштаби. Умовні знаки.
7. Номенклатура топографічних карт
8. Методи зображення рельєфу на картах. Основні форми рельєфу
9. Орієнтування ліній

1. Предмет і задачі геодезії

Геодезія – це наука про вимірювання на земній поверхні.

Геодезія поділяється на ряд наукових дисциплін, кожна з яких займається розв'язком своїх задач. Так, **вища геодезія** вивчає форму та розміри Землі, її гравітаційне поле та зміни цих параметрів в часі, а також займається створенням геодезичної основи на всю поверхню Землі. Цей розділ геодезії тісно пов'язаний з *теоретичною (фізичною) геодезією, геодезичною астрономією, гравіметрією і супутниковою геодезією*; **топографія** безпосередньо вивчає земну поверхню для її зображення на планах і картах та методи знімання місцевості та способи відображення основних її елементів на картах, пов'язана з *фотограмметрією і картографією, інженерна геодезія* - методи вимірювань для вишукування, проектування, будівництва та експлуатації інженерних споруд.

Геодезія також тісно пов'язана з такими науками як математика і програмування (обробка результатів геодезичних вимірювань), фізика (оптика і механіка необхідні для геодезичного приладознавства), фізика атмосфери, геофізика, геоморфологія, геологія та іншими.

2. Короткий нарис історії геодезії

Основними причинами появи і вдосконалення геодезії, як і будь-якої іншої науки, є практичні потреби людського суспільства, які пов'язані з розвитком с/г, промисловості, торгівлі, військової справи, управління тощо.

Слово *геодезія* з грецької мови означає земле розподіл.

Вже за тисячі років до н.е. в Китаї існувала установа для виконання знімання місцевості. Китайські провінції були відтворенні на вазах, які датуються 3 тис. до н.е. Будівництво іригаційних споруд, закріплення земель за їх власниками, розрахунок податку на землю - все це потребувало опису земель, які склались у вигляді креслень.

Разом з цим, в ті часи геодезія вирішувала і більш складні питання. Відомо, що у Вавилоні ще в 4 тисячолітті до н.е. була створена складна іригаційна система, яка використовувались для зрошення земель і регулювала розлив рік Тигра і Євфрату. Пам'ятником інженерної думки є канал Хобао між Тигром і Євфратом, канал, що з'єднав р. Ніл з Червоним морем, водопровід з підземною галереєю р. Євфратом та інші споруди, що відносяться до 3000-2000 до нашої ери. Одним з чудес древності є і Меридиво озеро, за допомогою якого розгулювались зрошення долини р. Ніл. В древньому Єгипті (4000-3000 до н.е.) були споруджені великі оборонні споруди, піраміди тощо.

В Китаї, Індії, Грузії, Вірменії, Греції, Італії, Палестині збереглися рештки древніх підземних споруд, що свідчать про високий рівень будівельного і геодезичного мистецтва.

Коли вперше були висловлені припущення про кулеподібну форму Землі, перед геодезією поставило завдання визначення радіуса Землі. Великий внесок у розвиток геодезії, астрономії і картографії зробив голова Олександрійської бібліотеки Ератосфеном (276-195 р.р. до н.е.) Він вперше провів вимір дуги меридіану, що дало можливість визначити розмір Землі.

В 2 ст. до н.е. Кратер виготовив перший глобус.

Цікавим і те, що ще в 827 році арабськими вченими була виміряна довжина меридіана в 1° на широті 35° (біля р. Тигр) і отриманий результат 111,8 км. сучасні дані 110,9 км.

В Київській Русі найбільш давні відомості про геодезичні роботи відносяться до 1068 року, коли між Керчю і Тамань була виміряна ширина Керченського приливу, яка складала 22 км.

Наприкінці XV століття у зв'язку з великими географічними відкриттями активізується розвиток геодезії, зокрема картографії та геодезичного приладобудування.

В подальшому розвитку геодезії важливу роль відіграли відкриття у фізиці і математиці, які привели в XVII столітті до винаходу зорової труби, верньєра та рівня.

З наукових відкриттів для розвитку геодезії велике значення мали вчення Коперніка, Галілея, Кеплера, Ньютона.

Найбільш широкого розвитку досягла геодезія в XX столітті, коли виникла потреба у великомасштабних топографічних картах, а в геодезичному забезпеченню будівництва унікальних інженерних споруд, будівельних комплексів з автоматичними лініями, будівництві висотних споруд тощо.

3. Поняття про форму і розміри Землі

Питання про форму і розміри Землі цікавило людство з давніх часів.

Вперше в 6 ст. до н.е. Піфагор припустив, що Земля має форму «найдосконалішого тіла», тобто кулі. В 4 ст. до н.е. Аристотель довів кулеподібність Землі за формою тіні на диску Місяця під час місячних затемнень. Обчислено розміри Землі як кулі було зроблено Ератосфеном в 3 ст. до н.е. Отже до Землю вважали кулею.

З кінця 17 ст. н.е. до середини 19 ст. Землю вважали приплюснутою з полюсів кулею. Сфероїдальність Землі довів Ньютон.

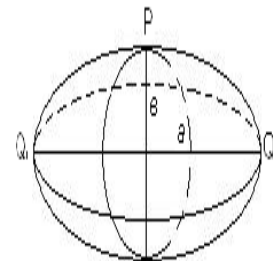
Фізична поверхня землі має складну форму і не може бути описана будь-якою з аналітичних форм. В 1873 р. німецький фізик Лістінг ввів поняття геоїда, як істинної фігури Землі. **Геоїд** – це рівнева поверхня, що збігається в океані з його незбуреним середнім рівнем і продовжується під материками так щоб прямовисні лінії перетинали її під прямим кутом. Фігура геоїда залежить від розподілу мас всередині Землі і відповідно від значення сили ваги в кожній точці земної поверхні.

Сьогодні за математичну модель Землі приймають еліпсоїд обертання.

Загально-земний еліпсоїд – це еліпсоїд обертання (сфероїд) таким чином зорієнтований в тілі Землі, що його центр співпадає з центром мас Землі, площина його екватора - з площиною екватора Землі і сума квадратів відхилень від поверхні геоїда є мінімальною.

Сфероїд отримують шляхом обертання еліпса навколо малої осі (рис.1), яка називається полярною віссю. Розміри еліпсоїда характеризуються величинами: a (велика піввісь), b (мала піввісь), α (стиснення). При цьому

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \quad (1)$$



Референц-еліпсоїд – це еліпсоїд, що найкраще описує фігуру Землі для певної території (країни). В Україні за референц-еліпсоїд прийнято еліпсоїд Красовського

Його розміри: $a=6378245$ м, $b=6356863$ м, $\alpha=1:298,3$

Рис.1

4. Системи координат і висот

Системи географічних координат в 2 ст. до н.е. запропонував грецький астроном Гіпарх.

Географічною широтою φ місця називається кут, утворений прямовисною лінією M_z , проведеною через точку M (рис. 2) і площиною екватора. Якщо вважати Землю за кулю, то широта т.М може бути визначена дугою MM_0 або кутом φ .

Географічною довготою λ називається кут між площиною меридіана даного місця і площиною Грінвіцького меридіана (GG_0).

Широту φ і довготу λ визначають за допомогою астрономічних спостережень.

Внаслідок того, що поверхня еліпсоїда не точно співпадає з поверхнею геоїда, має місце відхилення прямовисних ліній від нормалі до еліпсоїда (рис. 3). З цього випливає, що астрономічні вимірювання дають досить неточні координати, які можуть бути використані лише для розв'язання обмежених завдань.

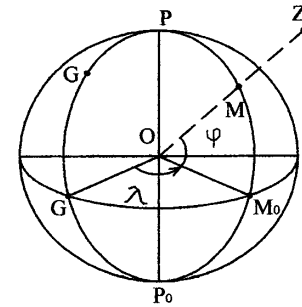


Рис. 2 спеціальні геодезичні вимірювання

Для більш точного визначення положення точок на земній поверхні виконують спеціальні геодезичні вимірювання.

Геодезична широта B – це гострий кут, утворений нормаллю до поверхні еліпсоїда і площини екватора. Геодезичні широти відлічують від площини екватора в межах $0^\circ - \pm 90^\circ$. Для точок північної півсфери вони додатні, для південної - від'ємні.

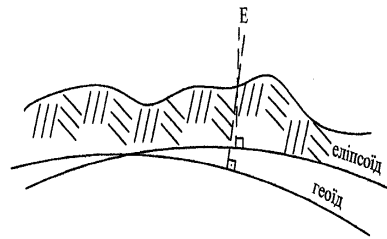


Рис. 3

Геодезична довгота L - це двограний кут, утворений площиною початкового меридіана і площиною меридіана, що проходить через задану точку. Геодезичні довготи, відлічувані від площини початкового меридіана на схід в межах $0^\circ - +180^\circ$, називають східними, а на захід – західними.

При розв'язанні багатьох інженерних задач в геодезії використовують систему прямокутних координат (рис. 4). Вісь абсцис X співпадає з напрямом меридіана точки O , вісь ординат Y перпендикулярна до неї. Чверті нумеруються за годинниковою стрілкою, починаючи з північно-східної чверті.. Положення будь-якої точки M в цій системі координат визначається координатами X_M, Y_M із своїми знаками .

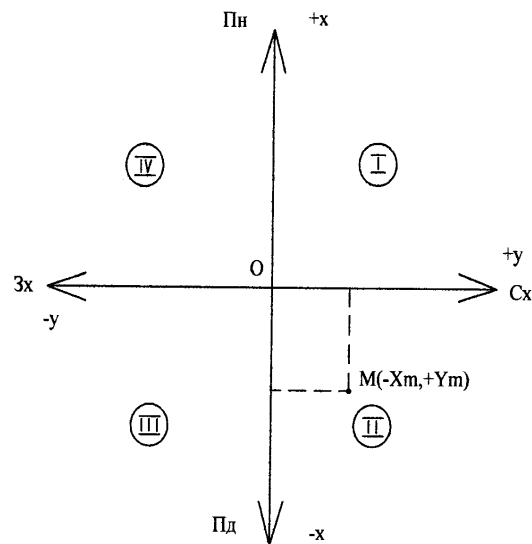


Рис. 4

В системі просторових координат крім планових координат (широти і довготи або X і Y) існує третя координата – **висота**.

Абсолютна **висота** точки – це відрізок прямовисної лінії від точки на фізичній поверхні Землі до рівневої поверхні, яка прийнята за вихідну (Балтійська система висот).

При відлічуванні від будь-якої іншої, не вихідної рівневої поверхні одержують умовні висоти.

Перевищення між точками земної поверхні – це різниця їх висот.

5. Проекція Гауса-Крюгера. Зональна система координат

Проекція Гауса-Крюгера – це проекція поверхні еліпсоїда на площину для опрацювання геодезичних вимірювань і визначення взаємного положення точок цієї поверхні в системі плоских прямокутних координат. Тобто дана проекція дає можливість перерахувати геодезичні координати в прямокутні.

При використанні проекції Г-К земний еліпсоїд поділяють меридіанами на сфероїдні двокутники - 6° меридіанні смуги. Зображення такої смуги на площині утворює **6° координатну зону**. Середній меридіан в кожній зоні називається **осьовим**. Напрямо осьового меридіану приймається за вісь абсцис, а вісь ординат збігається з відображенням екватора. Умовно початок координат в кожній зоні переносять на 500 км на захід, так щоб всі U в зоні мали додатні значення.

X – це відстань в км від екватора до даної точки. Наприклад $X=6065,654$ км.

Y – містить 4-5 значущих цифр: перші 1-2 – це номер зони, три останні - відстань в км від умовного початку координат. Наприклад $Y=4\ 312,121$ км

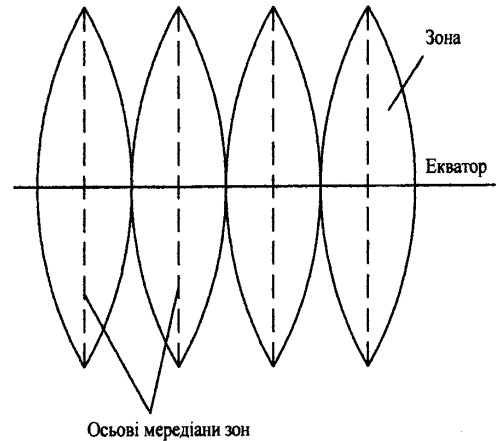


Рис. 5

6. План. Карта. Масштаби. Умовні знаки

Приймаючи до уваги значні розміри та кулястість Землі, її зображення на площині без спотворень отримати неможливо. Ділянки Землі спочатку ортогонально проектують на сфероїд, а тоді, згідно з математичними законами, які називають картографічними проекціями, на площину. В результаті такого зображення отримують карту або план.

Карта – зменшене, спотворене під впливом кривини Землі зображення на площині горизонтальної проекції значної частини або всієї земної поверхні, побудоване за певними математичними законами. При складанні карт перш за все будують географічну сітку меридіанів та паралелей, яка називається **картографічною сіткою**.

Планом називається зображення порівняно невеликих ділянок місцевості, побудоване на площині в ортогональній проекції без врахування кривизни Землі. При побудові планів точки місцевості проектують на площину прямовисними лініями. Таке проектування називається ортогональним.

Горизонтальні проекції ліній місцевості на планах та картах зображують у зменшеному вигляді. Ступінь зменшення горизонтальних проекцій ліній місцевості при зображенні їх на планах або картах – називається **масштабом**. Іншими словами, це відношення довжини відрізка на плані чи карті до його горизонтальної проекції на місцевості.

Масштаб, який виражається у вигляді дробу з чисельником одиниця називається **числовим**, наприклад, $\frac{1}{200}, \frac{1}{500}, \frac{1}{1000}, \frac{1}{10000}$ і т.д. Знаменник числового масштабу є число, яке показує у скільки разів зменшені горизонтальні проекції ліній місцевості при зображенні їх на плані чи карті.

Словесний масштаб – це запис масштабу на карті словами. Наприклад, для карти масштабу 1 : 10 000 - в 1 сантиметрі 100 метрів.

Користування числовим масштабом потребує обчислень. Тому, частіше використовують графічні побудови - так звані лінійні та поперечні масштаби.

Лінійний масштаб – це графічне зображення чисельного масштабу. Для побудови лінійного масштабу на відрізку прямої відкладають (в сантиметрах) декілька відрізків однакової довжини, які називаються основою масштабу. При основі 2 см масштаб називається нормальним. Ліву основу поділяють на 10 частин.

Лінійний масштаб в багатьох випадках не дозволяє виміряти довжину лінії з необхідною точністю. Точніше вимірюють лінії за допомогою поперечного масштабу. **Поперечний** масштаб застосовують для визначення довжин ліній на карті з точністю десятих часток міліметра.

Графічна точність масштабу – точність вимірювання довжин ліній на папері за допомогою циркуля-вимірювача і масштабною лінійкою. Експериментально встановлено, що такі вимірювання не можуть виконуватись точніше 0,1мм. Отже, **графічна точність масштабу** – це горизонтальна віддаль на місцевості, яка на карті (плані) даного масштабу дорівнює 0,1мм. Так, наприклад, для карти масштабу $1 : 25\,000$ найменша горизонтальна проекція ліній місцевості складає 2,5 м (1 см – 25 000 см (250 м); 1 мм – 25м; 0,1 мм – 2,5 м)

Плани та карти викреслюють в умовних знаках для даного масштабу. Умовні знаки прийнято поділяти на масштабні (контурні), напівмасштабні (лінійні), поза масштабні та пояснювальні (допоміжні).

Масштабними називаються умовні знаки, якими відображають предмети місцевості з дотриманням їх розмірів. Наприклад: ліси, луки, озера, сади, чагарники, рідколісся і т.і.

Лінійні об'єкти (дороги, ЛЕП, лінії зв'язку) зображають на планах і картах **напівмасштабними** умовними знаками, тобто лише їх довжина виражається в масштабі плану чи карти.

Предмети місцевості, які не можуть бути виражені в масштабі плану чи карти внаслідок своєї малої величини зображають **позамасштабними** умовними знаками. Наприклад: колодязі, окремі дерева, пам'ятники, пункти ДГМ.

Написи на картах, пояснення, характеристики об'єктів (мостів, доріг, річок тощо) відносяться до категорії **пояснювальних** умовних знаків.

7. Номенклатура топографічних карт

Номенклатура – це умовне літеро-цифрове позначення листів карт та планів, яке дозволяє визначити положення на земній кулі тієї частини території, що зображена на аркушах. Основою номенклатурного ряду карт різних масштабів є карта масштабу $1 : 1\,000\,000$.

На кожному аркуші карти цього масштабу земна поверхня зображена у вигляді трапеції, сторонами якої є меридіани і паралелі.

Номенклатура аркушів цієї карти складається з великої літери латинського алфавіту **А, В, С, D, Е, F, ... Z**, що відповідають 4-градусним широтним смугам – поясам, які відлічують від площини екватора до полюсів і арабської цифри **1, 2, 3, ... 60**, що означає номер 6-градусної колони, і відлічується із заходу на схід (проти годинникової стрілки) від меридіана з довготою 180° . Цей меридіан

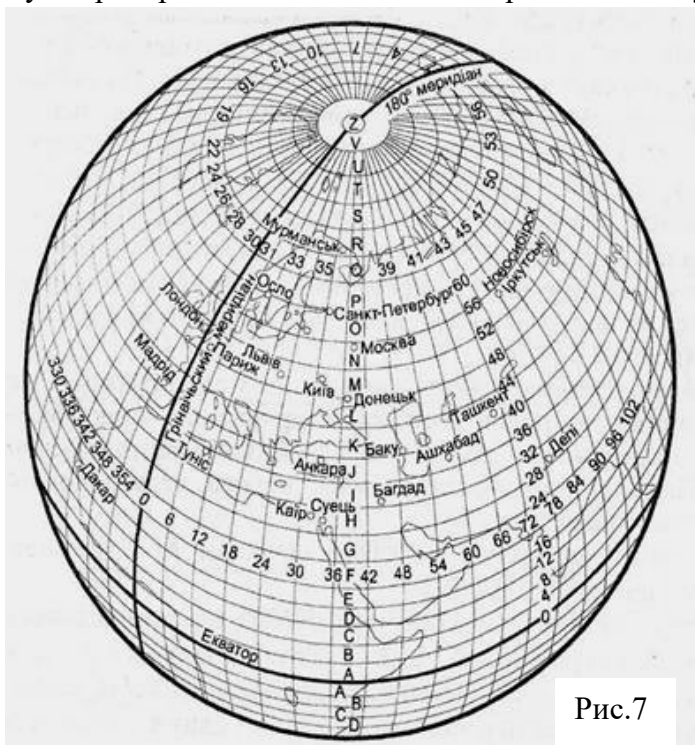


Рис.7

називається *початковим* або *Грінвічським*.

Меридіан – це лінія перетину земної поверхні площиною, що проходить через напрям прямовисної лінії в певній точці і паралельна до осі обертання Землі.

Паралель – це лінія перетину земної поверхні площиною, яка перпендикулярна до осі обертання Землі і паралельна до площини екватора.

Розглянемо номенклатурний ряд від аркуша масштабу **1:1000000** до **1:10 000**.

Спочатку розраховують аркуш карти масштабу **1:1 000 000** (наприклад **М-35**).

Далі, цей аркуш поділяють на **144** частини і отримують карту масштабу **1:100 000** з номенклатурою **М-35 -115**.

Подальший поділ можна записати у вигляді:

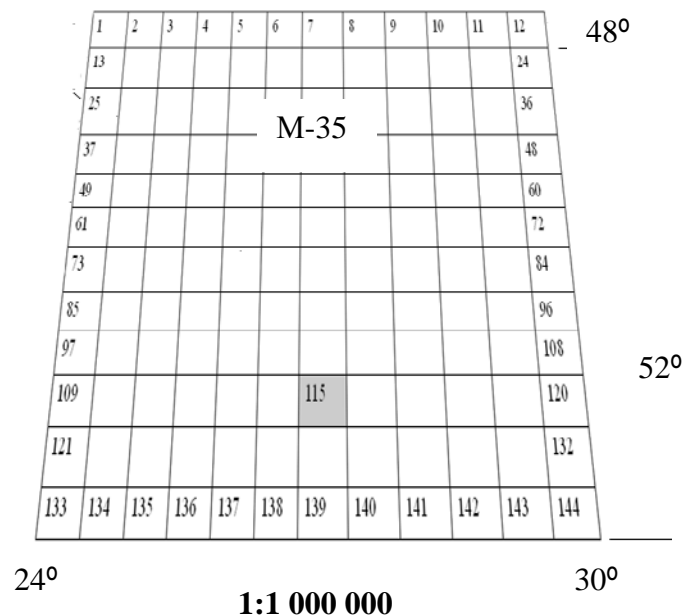
- **1:100 000** поділяють на 4 частини = **1:50 000** і позначають буквами **А, Б, В, Г**, наприклад (**М-35-115-А**) ;
- **1:50 000** поділяють на 4 частини = **1:25 000** і позначають малими буквами **а, б, в, г**, наприклад (**М-35-115-А-а**);
- **1:25 000** поділяють на 4 частини = **1:10 000** і позначають арабськими цифрами **1, 2, 3, 4**, наприклад (**М-35-115-А-а-1**).

Знаючи номенклатуру, можна визначити геодезичні координати будь-якого листа карти.

Для розрахунку широт і довгот вершин рамки трапеції **М - 35 - 115** знову викреслюють трапецію **М - 35** та поділяють її на **12** частин по широті і **12** частин по довготі. Кожна з отриманих **144** трапецій має наступні розміри :

по довготі - $6^{\circ} : 12 = 360' : 12 = 30'$

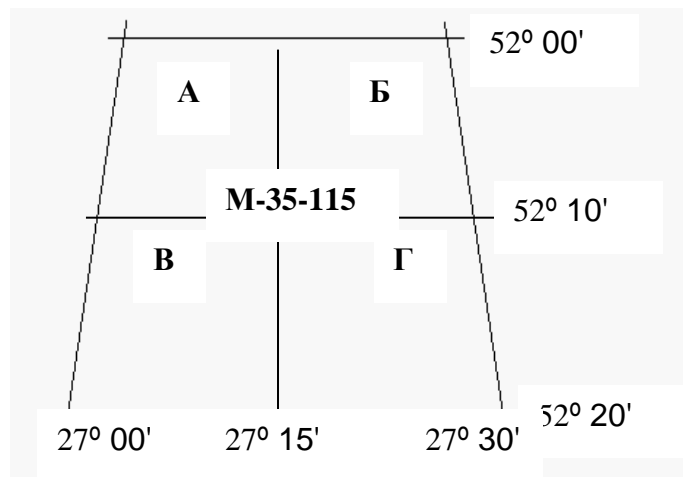
по широті - $4^{\circ} : 12 = 240' : 12 = 20'$.



Подальший крок полягає в переході до масштабу **1:50 000** поділом аркуша карти **1:100 000** на 4 частини **1 : 100 000**. Аркуш карти з номенклатурою **М-35-115-В** має розміри:

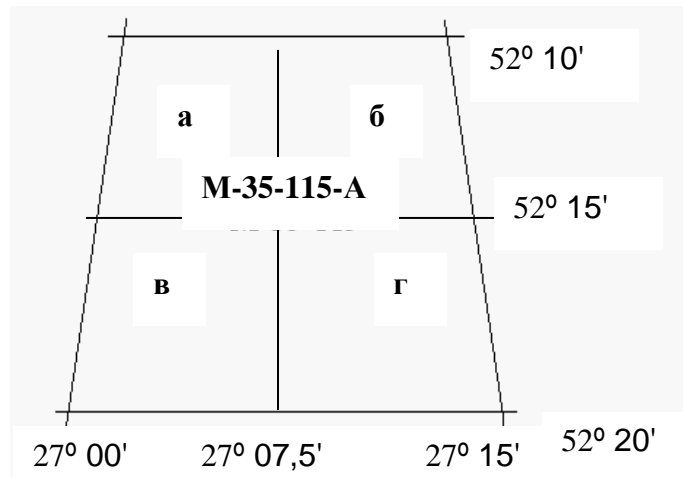
по довготі $30' : 2 = 15'$

по широті $20' : 2 = 10'$



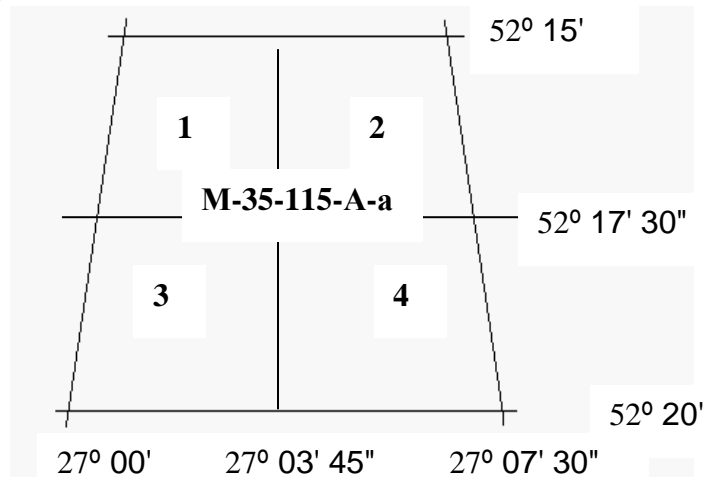
1:100 000

Для отримання аркушу карти масштабу **1:25 000** необхідно аркуш масштабу **1:50 000** поділити на 4 частини. Шукана номенклатура буде **М-35-115-А**, а розміри :
по довготі $15' : 2 = 7,5'$
по широті $10' : 2 = 5'$



1:50 000

Поділ аркуша карти масштабу **1 : 25 000** на 4 частини дасть аркуш карти масштабу **1 : 10 000** з номенклатурою **М-35-115-А-а-1** та розмірами :
по довготі $7,5' : 2 = 450'' : 2 = 3' 45''$
по широті $5' : 2 = 2,5' = 2' 30''$



1:25 000

Для розрахунку геодезичних координат рамки аркуша карти масштабу **1:2 000** слід скористатися наступним поділом. Аркуш карти **М-35-115** масштабу **1:100 000** поділяють на **256** частин, отримуюючи трапецію масштабу **1:5 000**, наприклад, **М-35-115-(256)**. Кожна з отриманих **256** трапецій буде мати розміри:

по довготі : $30' : 16 = 1' 52,5''$

по широті : $20' : 16 = 1' 15''$

Для отримання аркуша трапеції масштабу **1:2 000**, аркуш масштабу **1:5 000** поділяють на **9** частин та позначають малими буквами алфавіту - **а,б,в,г,д,е,ж,з,и**, наприклад, **М-35-115-(256-ж)**.

Кожна з отриманих 9 трапецій буде планом масштабу **1:2 000** з розмірами:

по довготі: $1' 52,5'' : 3 = 112,5'' : 3 = 37,5''$

по широті: $1' 15'' : 3 = 75'' : 3 = 25''$

8. Методи зображення рельєфу на картах. Основні форми рельєфу

Рельєф – це сукупність нерівностей земної поверхні, що утворюються на межі літосфери з атмосферою і гідросферою.

Способи зображення рельєфу:

- Світло-тіньове зображення рельєфу (випуклі форми рельєфу більш освітлені, впадини – затемнені)
- За допомогою штрихів (рельєф зображають виходячи з принципу прямовисного освітлення земної поверхні, при якому вона буде менш освітленою, коли крутизна схилу буде більша, тобто чим крутіше, тим темніше. Відповідно до крутизни схилу були побудовані шкали, де вказано співвідношення товщини штриха до ширини провіту між штрихами. Використовувався цей метод в 18-19 ст.);
- Гіпсометричний (кожному проміжку висот відповідає певний колір або його відтінок);
- За допомогою горизонталей (основний).

Горизонталі – це лінії, які з'єднують точки з однаковими висотами. Вони мають наступні властивості.

- Горизонталі – зімкнуті криві в межах плану або карти;
- Горизонталі на карті або плані є неперервними лініями. Вони можуть перериватись лише через яри і ріки.
- Горизонталі не можуть пересікатись і розгалужуватись. Винятком може бути хіба нависла в горах скала;
- Віддаль між горизонталями характеризує крутизну схилу, тобто чим ближче розташовані горизонталі на карті, тим крутіший схил. Напрямок схилу позначається **схилиштрихами** (**бергштрихами**);
- Горизонталі мають висоти, кратні висоті перерізу рельєфу. Наприклад, при перерізі рельєфу 2,5м, горизонталі будуть мати висоти 150м., 152,5м., 155м.

Основні форми рельєфу: гора, улоговина, хребет, лощина, сідловина.

9. Орієнтування ліній

Орієнтування ліній – це визначення напрямку лінії відносно іншого напрямку, прийнятого за початковий (вихідний). За початковий напрямок в геодезії приймають істинний, магнітний та осьовий меридіани або лінії паралельні їм (для осьового меридіана це лінії кілометрової сітки).

Дирекційним кутом α називається кут, який відраховують від північного напрямку осьового меридіана або лінії, що паралельна до нього, за годинниковою стрілкою до заданої лінії (в межах від 0 до 360°).

Істинним азимутом A називається кут, який відраховується від північного напрямку істинного меридіана або лінії, що паралельна до нього, за годинниковою стрілкою до заданої лінії (в межах від 0 до 360°).

Зближення меридіанів γ – кут між істинним меридіаном і лінією сітки. Якщо точка знаходиться на схід від осьового меридіана, то значення γ матиме від'ємний знак, якщо на захід – додатний.

Магнітним азимутом A_m називається кут, який відраховується від північного напрямку магнітного меридіана або лінії, що паралельна до нього, за годинниковою стрілкою до заданої лінії (в межах від 0 до 360°). Магнітний азимут на місцевості може бути виміряний за допомогою бусолі.

Схилення магнітної стрілки δ – кут між магнітним та істинним меридіанами. Схилення магнітної стрілки δ вважають додатним, коли магнітний меридіан відхиляється на схід від істинного меридіана, від'ємним – коли магнітний меридіан відхиляється на захід від істинного меридіана.

Дирекційний кут можна виміряти на карті, а для визначення істинного та магнітного азимутів необхідно використати графік (рис. 13), який розміщений під південною рамкою карти з лівої сторони від числового масштабу. Враховуючи знаки γ і δ , істинний та магнітний азимут обчислюють за формулами

$$A = \alpha - \gamma. \quad (1)$$

$$A = A_m - \delta. \quad (2)$$

Румбом називається гострий кут, що відраховується від найближчого напрямку меридіана (північного або південного) або ліній паралельній йому до напрямку на дану точку.

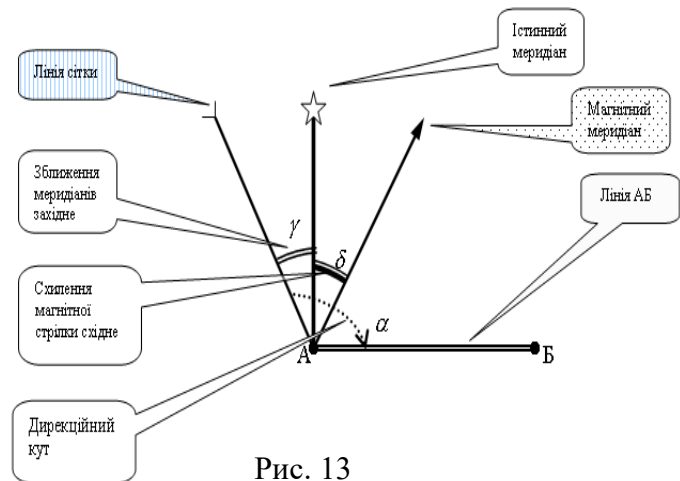


Рис. 13

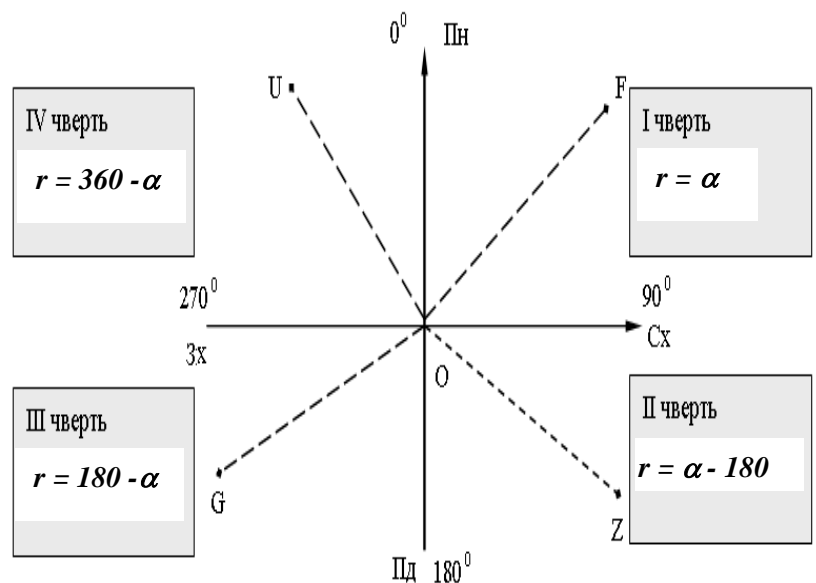


Рис. 14. Схема розміщення ліній у чвертях

Тема №2 ЛІНІЙНІ ВИМІРЮВАННЯ

1. Прилади для вимірювання ліній на місцевості
2. Компарування мірної стрічки
3. Вимірювання ліній стрічкою на місцевості
4. Точність лінійних вимірювань
5. Приведення лінії до горизонту

1. Прилади для вимірювання ліній на місцевості

В інженерно-геодезичних роботах лінійні вимірювання виконують мірними стрічками, рулетками, нитковим та оптичним віддалемірами, електронними тахеометрами.

Для топографо-геодезичних та вишукувальних робіт часто застосовується землемірна стрічка і рулетка (фото 1,2).

Стрічка виготовлена зі сталевих ланок довжиною 20, 24, 30 або 50 м. **Метри** на стрічці позначені латунними пластинками, **півметрові** поділки – заклепками, **дециметрові** – отворами. Відраховують по стрічці з точністю до **см**, поділяючи дециметрові поділки на око. В комплект входять також шпильки необхідні для фіксації стрічки.

В залежності від конструктивних особливостей, рулетки поділяються на декілька видів, зокрема, рулетки сталеві (прості) – РС-2, РС-5, РС-10; рулетки на хрестовині – РК-50 (фото 2), РК-70, РК-100; рулетки гірські – РГ-20, РГ-30, РГ-50 і т.п. Поділки на рулетках здебільшого нанесені через 1 мм. Цифри підписані біля кожної дециметрової та метрової поділок. Цифра в позначенні типу рулетки означає номіальну довжину в метрах. Для вимірювання ліній застосовують також лазерні рулетки, наприклад **Leica DISTO** (фото 3).



Фото 1. Землемірна стрічка



Фото 2. Рулетка РК-50



Фото 3. Leica DISTO™ A5

2. Компарування мірної стрічки

Перед початком лінійних вимірювань проводять компарування стрічок та рулеток.

Прокомпарувати – означає порівняти довжину стрічки (рулетки) з еталоном.

За еталон або компаратор приймають відрізки ліній на місцевості або в лабораторії, довжини яких відомі з високою точністю, близько 1 : 100 000. Знаючи точну довжину компаратора L_0 і вимірявши його довжину L за допомогою стрічки (рулетки), що перевіряється, визначають поправку за компарування Δl_k та дійсну довжину l стрічки (рулетки):

$$\Delta l_k = \frac{L_0 - L}{n}, \quad (1)$$

n – кількість укладень стрічки, або

$$l = l_0 + \Delta l_k, \quad (2)$$

де l_0 – номінальна довжина сталюї стрічки.

3. Вимірювання ліній стрічкою на місцевості

Процес вимірювання лінії починається з провішування лінії, тобто фіксації лінії на місцевості за допомогою віх (рис.1). Кожне вкладення лінії повинно бути в створі лінії. **Створ лінії** – це прямовисна площина, що проходить через кінцеві точки лінії. Якщо вимірювання лінії не буде виконуватись в створі (тобто не по прямій, а по ламаній лінії), тоді виміряна довжина лінії буде більша за дійсну, оскільки ламана лінія завжди довша за пряму.

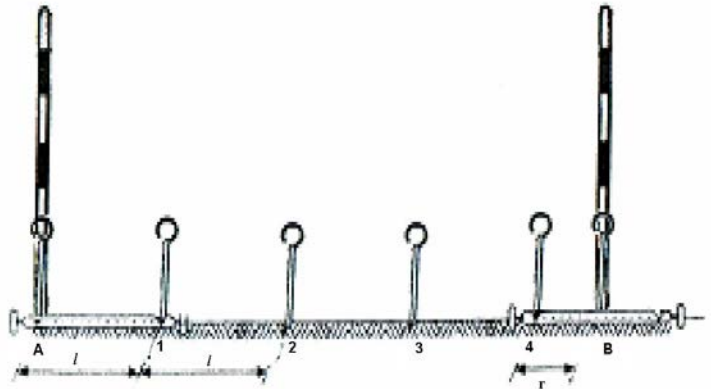


Рис.1. Вимірювання ліній стрічкою

Лінію між точками місцевості вимірюють в прямому та зворотньому напрямках. Довжина лінії, що виміряна стрічкою, обчислюється за формулою

$$S = n \cdot l_0 + r, \quad (3)$$

де n - кількість укладень стрічки; l_0 – номінальна довжина сталюї стрічки; r - довжина доміру (залишок).

Якщо довжина стрічки відрізняється від номіналу l_0 , то вводять поправку за компарування стрічки Δl_k . В такому випадку довжина лінії обчислиться за формулою

$$S = n(l_0 + \Delta l_k) + \frac{\Delta l_k}{l_0} \cdot r + r + \Delta S_t, \quad (4)$$

де ΔS_t - поправка у виміряну довжину лінії за різницю температур при компаруванні і вимірюванні лінії, яка обчислюється за формулою

$$\Delta S_t = \alpha(t_{\text{середн.}} - t_k)S, \quad (5)$$

де $\alpha = 0,0000125$ – коефіцієнт лінійного розширення сталі; $t_{\text{середн.}}$ - середня температура, при якій проводились виміри; t_k - температура при компаруванні стрічки; S - довжина лінії без введення поправок за компарування. ΔS_t вводиться тільки тоді, коли різниця $t_{\text{середн.}} - t_k \geq 8^{\circ}C$.

Якщо виявиться, що довжина стрічки **більша** від номінальної на Δl_k , то результат вимірювання лінії збільшиться на $n \cdot \Delta l_k$, де n – кількість укладень стрічки і, навпаки, якщо довжина стрічки **менша** від номінальної на Δl_k , то результат зменшиться на $n \cdot \Delta l_k$.

4. Точність лінійних вимірювань

Точність вимірювання лінії сталюї мірною стрічки складає 1:2 000. При гладкій підстилаючій поверхні (рівна поверхня, асфальт, низька трава) точність може підвищуватись до 1:3 000 і навпаки при складних умовах вимірювання (Висока рослинність, кам'яниста поверхня і т.д) точність лінійних вимірювань може знижуватись до 1:1 000.

5. Приведення похилої лінії до горизонту

Як відомо, на місцевості вимірюють похилу лінію. Для побудови плану використовують її горизонтальне прокладення d , тобто її проекцію на горизонтальну площину (рис. 2).

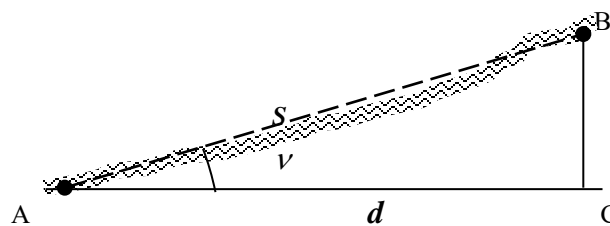


Рис. 2.

Щоб визначити горизонтальну проекцію AC лінії місцевості AB, необхідно виміряти кут нахилу ν . Тоді

$$d = S \cdot \cos \nu. \quad (6)$$

Тема №3

КУТОВІ ВИМІРЮВАННЯ

1. Принцип вимірювання горизонтальних кутів
2. Історичний шлях виникнення теодоліта
3. Класифікація теодолітів
4. Принципова схема теодоліта
5. Основні осі теодоліта
6. Основні геометричні умови
7. Зорова труба і її поле зору
8. Рівні
9. Відлікові пристрої
10. Способи вимірювання горизонтальних кутів
11. Джерела похибок при вимірюванні горизонтальних кутів

1. Принцип вимірювання горизонтальних кутів

Нехай на місцевості необхідно виміряти кут ВАС (рис. 1). Встановимо у вершині А прилад, основною частиною якого є круг з поділками. Круг розташовуємо горизонтально, а його центр над точкою А. Проекції напрямків АВ і АС перетнуть шкалу круга на відліках ν і c . Різниця цих відліків дасть значення кута $\angle ВАС$:

$$\beta = \nu - c \quad (1)$$

На цьому принципі ґрунтується будова теодоліта. Отже, **теодоліт** – це геодезичний прилад для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів.

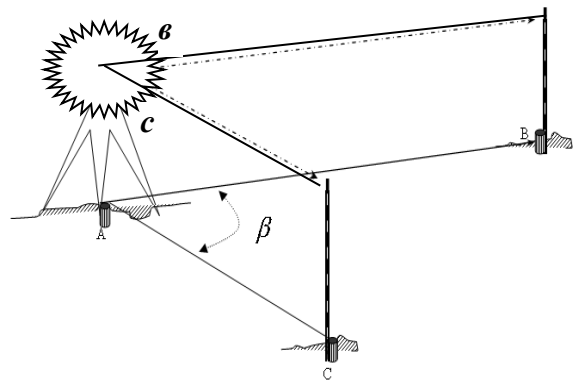


Рис.1. Схема вимірювання горизонтального кута

2. Історичний шлях виникнення теодоліта

Прообразом кутомірних приладів була астролябія. Її винахід приписують Гіпарху (180-125 р.р. до н.е.). У 1 ст. н.е. Птоломей запропонував пристрій для вимірювання вертикальних кутів – так звана «лінійка Птолемея».

Слово «теодоліт» вперше застосував англійський інженер Леонард Діге (1552р) під час опису своєї конструкції кутомірного пристрою.

Перший теодоліт, що мав риси сучасного був сконструйований англійським механіком Джоном Сіссоном у 1730 р.

Перший оптичний теодоліт з'явився у 1922 р. і був сконструйований Вільном.

У 80-х роках минулого століття з'явилися перші електронні теодоліти.

3. Класифікація теодолітів

Існуючі типи теодолітів відрізняються за точністю, видом відлікового пристрою, призначенням, конструкцією системи осей.

- За призначенням і сферою застосування розрізняють: астрономічні, геодезичні, маркшейдерські, спеціальні;
- За будовою (конструкцією системи осей): прості і повторювальні;
- В залежності від точності вимірювання горизонтальних кутів теодоліти поділяються на три групи:

1) *високоточні* Т05 і Т1, за допомогою яких вимірюють кути з точністю 0,5'' – 1,0''. Використовуються для кутових вимірювань в ДГМ 1, 2 кл.та для виконання прицеційних інженерних робіт;

2) *точні* Т2, Т5, за допомогою яких кути вимірюють з точністю 2'' – 5'' . Призначенні для вимірювання кутів в ДГМ 3.4 кл, мереж згущення і для інженерно-геодезичних вишукувань;

3) *технічні* Т15, Т30, Т60, точністю вимірювання кутів якими складає 15'' – 60''. Використовуються при створенні знімальних мереж, топографічного знімання місцевості, при виконанні вишукувань і маркшейдерських робіт.

В умовних позначеннях теодолітів цифра означає середню квадратичну похибку (скп) вимірювання кута одним прийомом.

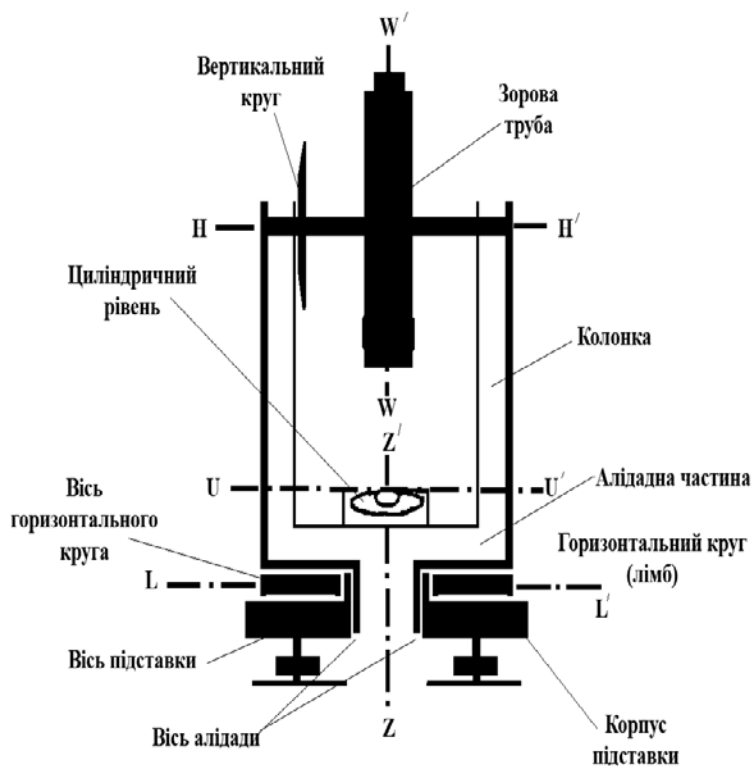
До в/т (Eth2 –Trimble, ТН3000-Leica (скп -0,5'')) і точних (Eth50 (скп - 5''), Т200-Leica (скп -6'')) б ДТ 102 – Торсон (скп - 5'')) відноситься ряд електронних теодолітів, які за своєю конструкцією мають багато спільного з оптичними теодолітами, Але обладнанні автоматичною системою відлічування кругів.

При будівництві споруд, монтажі промислового обладнання використовують лазерні теодоліти, в основі яких електронний теодоліт (скп 2'' – 5'').

4. Принципова схема теодоліта

Відповідно до принципу вимірювання горизонтальних кутів, конструкція теодоліта містить наступні частини (рис.2). Основною частиною теодоліта є *лімба*. В оптичних теодолітах – це скляне кільце з поділками, найчастіше через 10'. Оцифрування лімба виконується за годинниковою стрілкою від 0° до 360°. Величина дуги між двома найближчими штрихами називається *ціною поділки лімба*.

Зверху над лімбом розміщена *алідада*. Вона захищає лімба від механічних пошкоджень, вологості, пороху тощо. В свою чергу алідада прикрита, спеціальним захистом, до якого прикріплені дві колонки. На осі обертання труби закріпленій *вертикальний круг*.



Для приведення площини лімба в горизонтальне положення, на корпусі алідади знаходиться *циліндричний рівень*. Регулювання положення бульбашки рівня виконується за допомогою *трьох підіймальних гвинтів*, розмічених на підставці.

Лімб і алідада мають закріпні гвинти і навідні. Навідні гвинти працюють лише при закручених закріпних гвинтах.

5. Основні осі теодоліта

Вісь обертання теодоліта ZZ' (вертикальна вісь) – це прямовисна лінія, яка проходить через вісь обертання алідади горизонтального круга;

Вісь обертання зорової труби NN' (горизонтальна вісь);

Візна вісь WW' – лінія, що проходить через центр сітки ниток і задню головну точку об'єктива;

Вісь циліндричного рівня UU' – лінія дотична до внутрішньої поверхні ампули в нуль-пункті.

Площина лімба LL'.

При обертанні зорової труби навколо осі NN' утворюється площина, яка називається *колімаційною площиною*.

6. Основні геометричні умови

Виходячи з принципу вимірювання горизонтального кута, в конструкції теодоліта повинна бути певна залежність між його площинами і осями. Основною умовою є горизонтальність площини лімба, а його центр повинен знаходитись на прямовисній лінії, яка роходить через вершину кута.

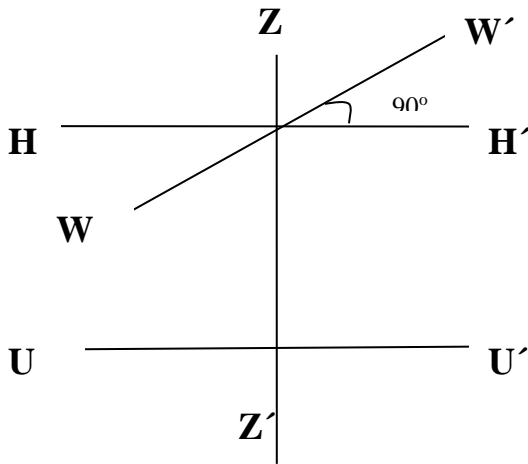


Рис.3. Схематичне розміщення основних геометричних осей

Основними геометричними умовами теодоліта є:

- вісь циліндричного рівня UU' повинна бути перпендикулярна до вертикальної осі ZZ' ;
- візирна вісь WW' повинна бути перпендикулярна до осі обертання труби HH' ;
- вісь обертання труби HH' повинна бути перпендикулярна до вертикальної осі ZZ' .

Перед початком робіт виконують перевірку геометричних умов теодоліта, а також перевірку правильності встановлення сітки ниток, перевірку місця нуля вертикального круга та ін.

7. Зорова труба і її поле зору

Для візування на віддалені предмети в геодезичних приладах використовують **зорові труби** - астрономічні труби, які дають обернене зображення і земні, які дають пряме зображення. Астрономічні труби переважно використовують у високоточних теодолітах.

Для наведення труби на певну точку місцевості в зорових трубах геодезичних приладів є сітка ниток (рис. 3). У найпростішому вигляді – це скляна пластика у металевій оправі (діафрагмі). На пластинці є тонкі взаємно перпендикулярні штрихи, які називають **нитками сітки**. Їхня товщина коливається від 4 до 10 мкм. Центральну точку перетину ниток називають **центром сітки ниток**. Цю точку перетину використовують для візування на предмети місцевості. В деяких теодолітах сітка ниток має подвійний вертикальний штрих, який називається бісектором. Крім основних взаємно перпендикулярних штрихів нанесено ще два горизонтальні штрихи, які називають віддалемірними і за допомогою яких вимірюють віддалі.

При візуванні на ціль, спостерігач повинен чітко бачити в полі зору труби штрихи сітки ниток і зображення цілі. Перетин сітки ниток не повинен сходити із зображення візирної цілі при переміщенні ока відносно окуляра. Якщо зображення предмета не попадає в площину сітки ниток, то таке явище називають **паралаксом сітки ниток**. Паралакс виникає через неякісне фокусування труби і усувається повторним встановлення чіткого зображення штрихів сітки ниток за допомогою діоптричного кільця окуляра і чіткого зображення візирної цілі труби за допомогою фокусувального гвинта.

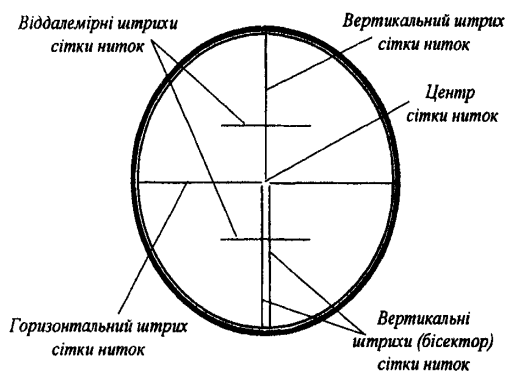


Рис. 3.

Після встановлення труби по оку і предмету, наводять її на візирну ціль і беруть відлік на лімбі (горизонтальному кругу).

8. Відлікові пристрої

Відліком по кутомірному кругу називають величину дуги між нульовим штрихом лімба і индексом аліади. Штрихи лімба, ніж якими знаходиться индекс, називають *молодшим* і *старшим* штрихами. Для оцінки інтервалу між молодшим штрихом лімба і индексом використовують різні відлікові пристрої.

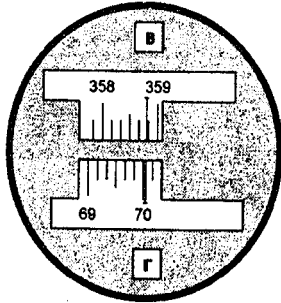


Рис. 1.4. Поле зору відлікового мікроскопа теодоліта Т-30.
Відліки: горизонтального круга $70^{\circ}02'$, вертикального круга $358^{\circ}48'$

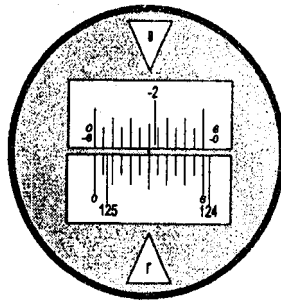


Рис. 1.5. Поле зору відлікового мікроскопа теодоліта 2Т-30.
Відліки: горизонтального круга $125^{\circ}07,0'$, вертикального круга $(-2^{\circ}26,5')$

В технічних теодолітах відлікові пристрої бувають двох типів *штрихові* і *шкалові*. Принцип дії цих відлікових пристроїв оснований на властивості ока з високою точністю сприймати співпадіння штрихів однієї шкали із штрихами іншої шкали, а також оцінювати десяті долі величини віддалі між молодшим штрихом і индексом.

Штриховий мікроскоп – це оптичний пристрій, в якому одночасно видно і поділки лімба і шкалу мікроскопа (штрих-індекс) (рис. 4). У полі зору мікроскопа видно оцифровані штрихи лімба і индекс. Значення градусів і десятків мінут беруть безпосередньо на лімбі до індекса. Десяті долі між молодшим штрихом і индексом оцінюють „на око”. У полі зору відлікового мікроскопа (рис. 4) видно: оцифровані штрихи цілих градусів на горизонтальному крузі (Г) і вертикальному крузі (В). Кожний градус поділений на 6 частин, тобто ціна поділки - $10'$. Кожний відлік буде складатись з цілих градусів плюс кількість поділок по $10''$ плюс доля поділки, взята „на око”.

Шкаловий мікроскоп відрізняється від штрихового тим, що в ньому замість штриха видно шкалу, довжина якої дорівнює зображенню найменшої поділки лімба. Сама шкала має 12 поділок, тобто найменша поділка на шкалі - $5'$. Индексом для відліку служить штрих лімба, який знаходиться в межах шкали. Відлік на горизонтальному крузі складається з цифри градусів, кількості поділок по $5'$ від нуля шкали до штриха лімба і частини найменшої поділки шкали ($5'$) до індекса (підписаної градусної поділки).

Вертикальний круг теодоліта 2Т30 оцифровано від 0° до 75° і від -0° до -75° , тому він має дві частини відлікової шкали – без знака та із знаком мінус. Якщо в полі зору мікроскопа перед числом градусів немає знаку, то шкалу відлічують від 0 до 6, якщо стоїть знак мінус, то від -0 до -6 .

У високоточних теодолітах переважно використовують оптичні мікрометри. По суті це є оптичні пристосування, за допомогою яких долю найменшого штриха оцінюють не „на око”, а вимірюють оптичним мікрометром.

9. Рівні

Рівні служать для приведення осей і площин геодезичних приладів в горизонтальне або вертикальне положення. За формою розрізняють *циліндричні* і *круглі (сферичні) рівні*.

Циліндричний рівень (рис. 6) - це скляна трубка (ампула), внутрішня поверхня якої у вертикальному поздовжньому розрізі має вигляд дуги кола.

На зовнішній поверхні рівня нанесені поділки через 2 мм. Середній штрих шкали приймають за нульовий і називається *нуль-пунктом рівня*.

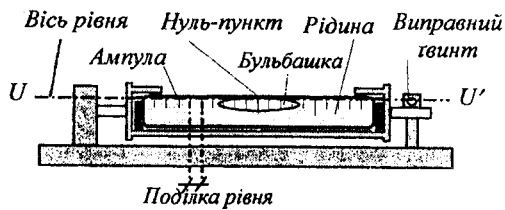


Рис. 6 Циліндричний рівень

Круглий рівень - це скляний резервуар циліндричної форми, внутрішня сторона якого є сферичною поверхнею певного радіуса. На зовнішній поверхні резервуара вигравіровані концентричні кільця, центр яких і є нуль-пунктом кругового рівня. Круглі рівні мають малу чутливість і використовуються переважно для попереднього встановлення в робоче положення.

При виготовленні рівня ампулу заповнюють ефіром або винним спиртом, нагрівають і запаюють. Після охолодження ампули, в її середині утворюється невеликий простір, заповнений парами цієї рідини, котрий називається *бульбашкою рівня*. Для захисту ампули від пошкоджень, її поміщають в металеву оправу, заповнену гіпсом.

10. Способи вимірювання горизонтальних кутів

Вимірювання кутів виконують лише перевіреним і відюстованим теодолітом. Залежно від конструкції теодоліта, його точності, умов вимірювання та вимог до точності результату вимірювання, застосовують наступні способи вимірювання горизонтальних кутів:

1.Спосіб кругових прийомів полягає в одночасному вимірюванні з одного пункту декількох напрямів. Використовується цей спосіб в триангуляції і полігонометрії для досягнення високої точності вимірювань.

2.Спосіб прийомів (або спосіб вимірювання окремого кута) застосовують для вимірювання окремих кутів при прокладанні теодолітних ходів та інших роботах, де не вимагається високої точності. Для таких вимірювань використовують технічні теодоліти (Т30, 2Т30П тощо).

3.Спосіб повторень використовують тоді, коли точність теодоліта нижча ніж вимоги до точності остаточного значення вимірного кута.

11. Джерела похибок при вимірюванні горизонтальних кутів.

Джерела похибок при вимірюванні горизонтальних кутів поділяються на наступні категорії:

- інструментальні похибки (колімаційна похибка, ексцентриситет лімба і алідади, похибка нанесення штрихів на лімбі);
- похибки спостерігача (відлічування, візування, центрування). Це випадкові похибки. Їх вплив зменшується завдяки методиці спостережень;
- похибки за вплив зовнішнього середовища (температура, тиск, рефракцію)

Рефракція – це явище викривлення візирного променя в атмосфері. Вплив рефракції можна зменшити правильно підібравши програму спостережень. Величина рефракції змінюється протягом дня і в залежності від пори року. Максимальний вплив рефракції на кутові виміри спостерігається в безвітряні, ясні, жаркі, літні дні. Найвигідніший час для спостережень 0.5-1 год. після сходу сонця і до 11 год. і з 16 год до 1 год до заходу сонця.

Тема №4
ТРИГОНОМЕТРИЧНЕ НІВЕЛЮВАННЯ

1. Суть тригонометричного нівелювання. Основні формули
2. Вимірювання кутів нахилу
3. Визначення і виправлення місця нуля (M0)
4. Вимірювання віддалей нитковим віддалеміром

1. Суть тригонометричного нівелювання. Основні формули

Нехай тахеометр встановлений над т.А, а рейка – в точці В (рис. 1).

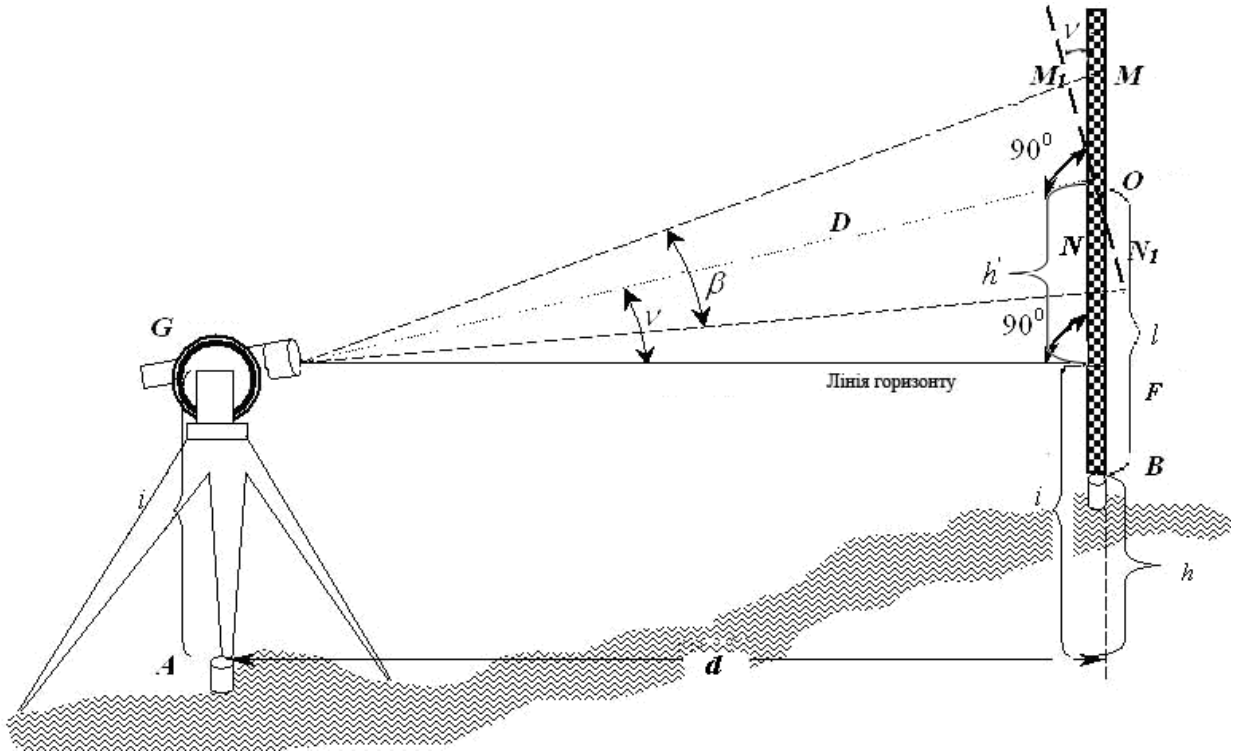


Рис. 1. Схема тригонометричного нівелювання

Зорова труба тахеометра наведена на рейку, GO – візирна вісь. Проекції віддалемірних ниток на рейці - відповідно в точках M і N . Висоту тахеометра над точкою A позначають – i , відрізок рейки BO – l (висота візування на рейку).

$$\text{Запишемо } h + l = h' + i \Rightarrow h = h' + i - l. \quad (1)$$

$$\text{Оскільки } h' = d \cdot \operatorname{tg} \nu, \quad (2)$$

$$\text{тоді } h = d \cdot \operatorname{tg} \nu + i - l. \quad (3)$$

Для обчислення горизонтальної проекції d похилої віддалі D при її вимірюванні нитковим віддалеміром, необхідно останню двічі помножити на $\cos \nu$: один раз – за неперпендикулярність осі рейки до візирної осі на кут ν (на рис. 1 $\nu = M_1OM$), щоб отримати віддаль GO ; другий раз – за нахил візирної осі на кут ν (на рис. 1 $\nu = OGF$), щоб отримати горизонтальну проекцію віддалі d .

Отже,

$$d = D \cdot \cos^2 \nu. \quad (4)$$

Підставивши (4) в (3), одержимо

$$h = \frac{1}{2} D \cdot \sin 2\nu + i - l; \quad (5)$$

Якщо візування проводиться на висоту інструмента, тобто $i = l$, запишемо скорочену формулу тригонометричного нівелювання

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \nu = \frac{1}{2} D \cdot \sin 2\nu. \quad (6)$$

Отже, основними формули тригонометричного нівелювання є:

$$\underline{d = D \cdot \cos^2 \nu} \quad \text{і} \quad \underline{h = d \cdot \operatorname{tg} \nu + i - l} \quad \text{або} \quad \underline{h = \frac{1}{2} D \cdot \sin 2\nu + i - l};$$

З переходом до електронної тахеометрії віддалі пікетів можуть досягати 1000м. При таких довжинах ліній слід враховувати поправки за кривину Землі та атмосферну рефракцію.

2. Вимірювання кутів нахилу

Вертикальний круг теодоліта використовується для вимірювання кутів нахилу або зенітних віддалей. В роботах технічної точності переважно вимірюють кути нахилу.

Вертикальний круг, як і горизонтальний складається з лімба і алідади. Лімб вертикального круга закріплений на осі обертання труби і повертається разом з трубою. При цьому нульовий діаметр лімба (0° - 180° або 0° - 0° залежно від оцифровки лімба) повинен бути паралельний до візирної осі труби. Алідада вертикального круга при обертанні труби залишається нерухомою.

В теодолітах типу Т30 і Т15 рівень на алідаді вертикального круга відсутній. Його функцію виконує рівень на алідаді горизонтального круга.

В сучасних теодолітах використовується дві основні системи оцифрування вертикальних кругів:

1) кругове, при якому поділки круга підписані від 0° до 360° за годинниковою стрілкою (теодоліти Т15, Т5) або проти ходу годинникової стрілки (Т30);

2) секторне, де вертикальний круг розділений на чотири сектори, з яких два діаметрально протилежні мають додатне оцифрування, а два інші – від'ємне (2Т30, Т15К, 2Т5 та інші). Така система зручна тим, що значення градусів є однаковим при КП і це спрощує обчислення.

Якщо би вісь циліндричного рівня на алідаді вертикального круга була би паралельна до нульового діаметра алідади, а нульовий діаметр вертикального круга був би паралельний до візирної осі, тоді відлік на вертикальному крузі при наведенні труби на будь-яку візирну ціль відповідав би куту нахилу. Конструктивно цього досягнути неможливо. На практиці при горизонтальному положенні візирної осі WW' і осі циліндричного рівня $U U'$ відлік вертикального круга буде не нуль, а деяка величина, яку називають місцевим нулем і позначають MO .

Для тахеометрів без циліндричного рівня при алідаді вертикального круга (**Т-30, 2Т30**) відлік вертикального круга, коли візирна вісь труби горизонтальна, а вертикальна вісь приладу – прямовисна, називається *місцем нуля вертикального круга (МО)*.

MO визначають через відліки вертикального круга при КП і КЛ, взяті при візуванні на деяку точку місцевості. Вигляд формул, за якими обчислюють кут нахилу та місце нуля залежить від підписання поділок на лімбі вертикального круга.

Наведемо основні формули для обчислень кутів нахилу та місця нуля.

Для тахеометра - Т-30
$$MO = \frac{KL + KP + 180^0}{2} \quad (7)$$

$$v = MO - KP - 180^0;$$

$$v = KL - MO; \quad (8)$$

$$v = \frac{KL - KP - 180^0}{2}.$$

Для тахеометра - 2Т30
$$MO = \frac{KL + KP}{2}$$

(9)

$$v = MO - KP;$$

$$v = KL - MO;$$

$$v = \frac{KL - KP}{2} \quad (10)$$

Приклад 1. Відлік вертикального круга (Т30) $KL = 3^029'$ а $KP = 176^037'$.

$$MO = \frac{3^029' + 360^0 + 176^037' + 180^0}{2} = 360^003' = +0^003';$$

$$v = 3^029' + 360^0 - 360^003' = +3^026'.$$

Контроль:

$$v = 360^003' - (176^037' + 180^0) = +3^026'; \quad v = \frac{3^029' + 360^0 - (176^037' + 180^0)}{2} = +3^026'.$$

Одним з контролів якості вимірювання кутів нахилу є сталість **МО**. Коливання його величини під час вимірювань на одній станції не має перевищувати подвійної точності відлікового пристрою теодоліта. Величина **МО** не впливає на результати вимірювань, але зручніше, коли воно близьке до 0°.

3. Визначення місця нуля (МО)

Для визначення **МО** теодоліт приводять у робоче положення. Вибирають чітко видимої точку і візують на неї при **KL** або **KP**. Підіймальним гвинтом підставки, який найближче розташований до створу, встановлюють бульбашку рівня при алідаді горизонтального круга на середину і тоді ще раз навідним гвинтом труби спрямовують її на точку. Аналогічно поступають при другому положенні круга. Відраховують почергово **ВК** у двох його положеннях **KL** і **KP**.

Обчислюють величину **МО** і якщо необхідно, то виправляють.

Для виправлення **МО** труба спрямована на спостережувану точку, бульбашка рівня при алідаді горизонтального круга на середині. Навідним гвинтом труби встановлюємо обчислений правильний відлік на вертикальному крузі.

Приклад 1 (тахеометр Т30) $KL_{\text{правильний}} = KL - MO = 3^029' - 0^003' = 3^026';$

$$KP_{\text{правильний}} = KP - MO = 176^037' - 0^003' = 176^034'.$$

Сітка ниток зійде зі спостережуваної точки. Відпускають один із бокових гвинтів і, діючи вертикальними виправними гвинтами оправи сітки ниток, спрямовують горизонтальну нитку на спостережувану точку. Після закріплення сітки, вимірювання і обчислення повторюють. Значення *МО* записують у журнал.

Після виправлення *МО* слід виконати перевірку положення візирної осі.

4. Вимірювання віддалей нитковим віддалеміром

Ниткові віддалеміри є в зорових трубах, що мають в полі зору віддалемірні нитки (тема 3 рис. 1). Вони дозволяють виміряти віддаль від теодоліта (тахеометра) до рейки. Коефіцієнт ниткового віддалеміра *K* є величина стала і близька до 100.

Під час вимірювань одну з віддалемірних ниток для зручності відлічування спрямовують на початок дециметра. Далі обчислюють віддаль *n* між віддалемірними штрихами на рейці. Виміряну відстань *D* обчислюють за формулою

$$D = K \cdot n \quad (11)$$

Тема №5 ГОРИЗОНТАЛЬНЕ ЗНІМАННЯ

1. Державна геодезична мережа
2. Суть горизонтального знімання
3. Основні етапи горизонтального знімання
4. Прокладання теодолітних ходів
5. Знімання ситуації
6. Пряма і обернена геодезична задачі
7. Камеральні роботи (обчислення журналу, складання схеми, обчислення відомості координат)
8. Побудова плану

1. Державна геодезична мережа

Державна геодезична мережа (ДГМ) – це сукупність пунктів, рівномірно розташованих на території країни і закріплених на місцевості спеціальними центрами, які забезпечують їх збереження і стійкість в плановому і висотному відношенні протягом тривалого часу. ДГМ є носієм системи координат і висот в Україні. Складовими частинами ДГМ є планова і висотна геодезичні мережі.

Згідно з основними положення ми створення ДГМ, затвердженими Кабінетом Міністрів України від 8 червня 1998р. №844 *планова ДГМ* створюється у вигляді АГМ 1 кл., геодезичної мережі 2 кл, геодезичних мереж згущення 3, 4 кл., геодезичних мереж спеціального призначення.

Розрізняють 4 основних методи створення планових мереж : полігонометрія (система ламаних ліній з виміряними довжинами сторін і горизонтальними кутами), триангуляція (мережа трикутників, в яких виміряні всі кути і хоча б одна сторона), трилатерація (мережа трикутників, в яких виміряні всі довжини сторін) та супутниковий метод GPS.

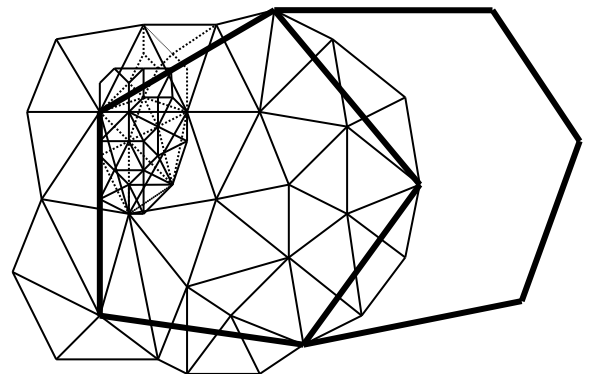


Рис. 1

Висотна ДГМ поділяється на 4 класи: нівелірні мережі 1-4 кл. За нульову відмітку висот в Україні прийнято середній рівень Балтійського моря, точніше нуль Кронштадського футштока.

Знімальні мережі – це мережі з пунктів яких буде виконуватись знімання ділянки місцевості. Координати цих пунктів визначають використовуючи відомі координати пунктів ДГМ в даному районі робіт аналітичним методом (теодолітні, тахеометричні ходи) або графічним методом (мензульний хід, засічки)

2. Суть горизонтального знімання

Горизонтальне знімання (контурне, ситуаційне, теодолітне) – це комплекс робіт, які виконують для отримання зображення контурів (ситуації) на знімальному оригіналі карти (плану). Знімальну основу для цього створюють за допомогою теодоліта, мірної стрічки, рулетки. Горизонтальне знімання як правило виконують у рівнинні місцевості зі складною ситуацією.

Основою горизонтального знімання є теодолітні ходи

3. Основні етапи горизонтального знімання

I. Підготовчі роботи:

- 1) складання проекту;
- 2) камеральне рекогностування.

II. Польові роботи:

- 1) польове рекогностування теодолітних ходів:
 - огляд і обстеження місцевості для уточнення проекту геодезичної мережі;
 - остаточний вибір місць розташування станцій теодолітного ходу з врахуванням особливостей місцевості (врахування характеру рослинного покриву, забезпечення видимості між пунктами);
- 2) прокладання теодолітних ходів;
- 3) прив'язка теодолітних ходів до пунктів ДГМ (передача координат на вихідні станції теодолітного ходу);
- 4) знімання ситуації.

III. Камеральні роботи:

- 1) обчислення журналу теодолітного ходу
- 2) складання схеми ходу
- 3) обчислення відомості координат
- 4) побудова плану:
 - викреслювання сітки плану;
 - нанесення станцій теодолітного ходу за обчисленими координатами на план;
 - нанесення ситуації;
 - графічне оформлення плану.

4. Прокладання теодолітних ходів

Теодолітні ходи – це система ламаних ліній, де кути виміряні теодолітом способом повного прийому, а довжини ліній виміряні в прямому і зворотньому напрямках мірною стрічкою. Результати вимірів записують в журнал. Теодолітні ходи можуть бути зімкненими, тобто утворювати полігон і опиратися на один пункт ДГМ, або бути розімкненими і в цьому випадку опиратись на два пункти ДГМ (рис.2)

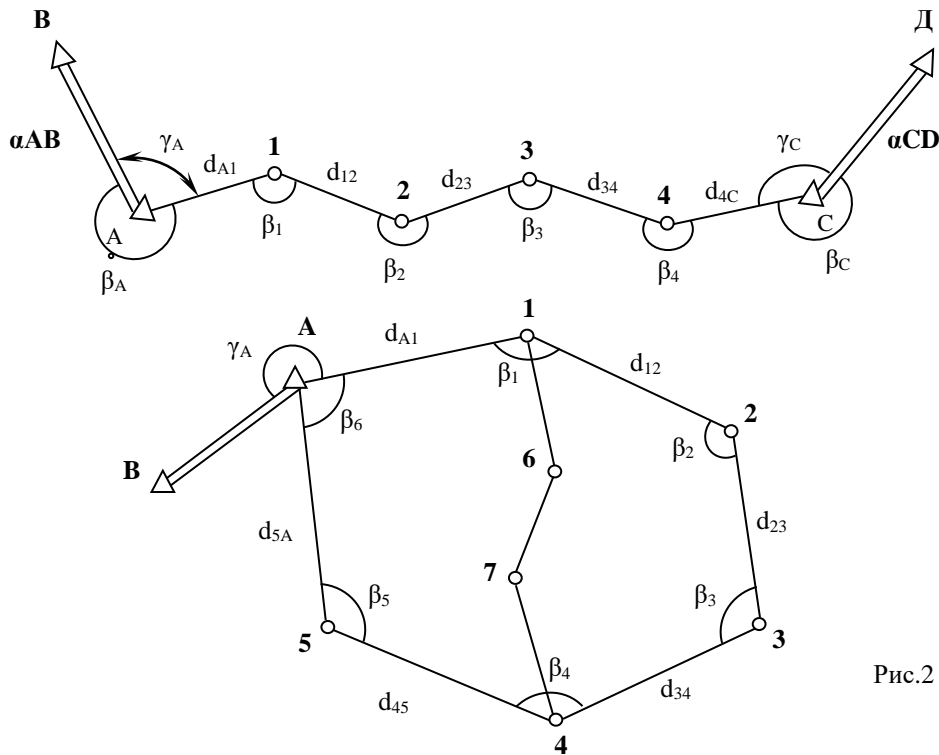


Рис.2

5. Знімання ситуації

Знімання ситуації виконують наступними методами:

- 1) **лінійна засічка** (рис.3). Її виконують, коли відстань від контурних точок до точок знімальної основи не перевищує довжину мірної стрічки;

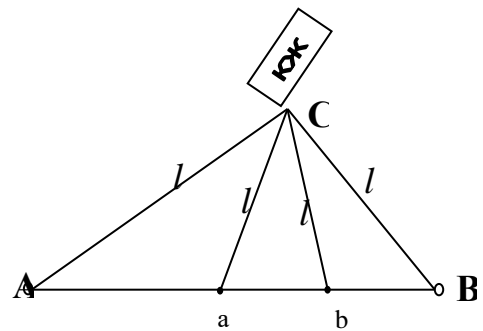
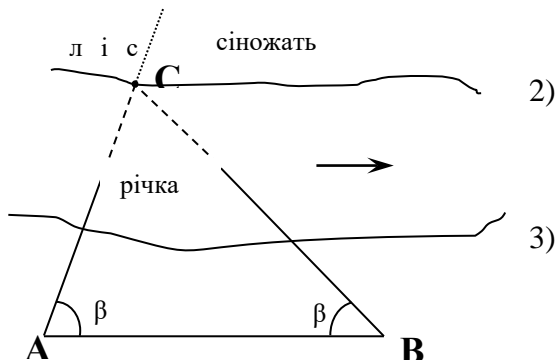


Рис.3



2)

- 2) **кутова засічка** (рис.4) Виконують, коли відстань від контурних точок до точок знімальної основи перевищує довжину мірної стрічки;

3)

- 3) **створна засічка**. Її виконують, коли контур знаходиться в створі сторони теодолітного ходу;

- 4) **метод перпендикулярів** (рис.5). Виконують, коли контур розміщений вздовж сторони ходу;
- 5) **полярний метод** (рис.6).

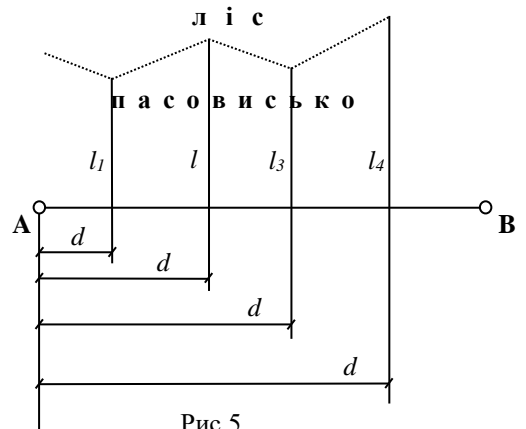
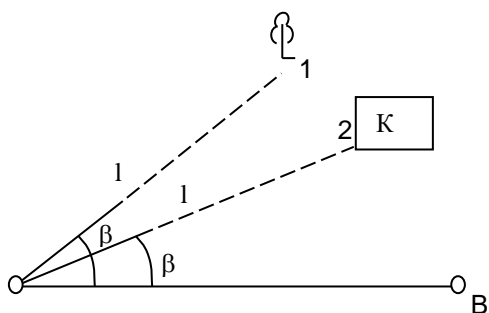


Рис.5



За результатами знімання виконують зарис.

Зарис – це схематичний рисунок ділянки місцевості, на якому показані контури угідь, елементи ситуації, населені пункти, елементи гідрографії та їх назви, а також результати вимірювань та інші відомості необхідні для складання плану.

6. Пряма і обернена геодезична задачі

Робота з картою чи планом, обчислення результатів польових вимірювань, розв'язання багатьох задач в землеустрої, підготовка даних для винесення проектів в натуру тісно пов'язані з розв'язанням прямої і оберненої геодезичних задач.

Пряма геодезична задача.

Відомо : координати точки 1 X_1 і Y_1 ,
горизонтальна проекція лінії 1-2 d_{1-2}
дирекційний кут напрямку 1-2 α_{1-2} .

Необхідно визначити координати точки 2.

Проведемо через точки 1 і 2 лінії, паралельні до координатних осей. На перетині цих ліній отримуємо точку 2'. В прямокутному трикутнику 1-2-2' відома гіпотенуза d_{1-2} і гострий кут α_{1-2} . Катети цього трикутника є прости координат Δx_{1-2} і Δy_{1-2} , які можна визначити за формулами:

$$\Delta x_{1-2} = d_{1-2} \cdot \cos \alpha_{1-2}; \quad (1)$$

$$\Delta y_{1-2} = d_{1-2} \cdot \sin \alpha_{1-2}. \quad (2)$$

Контролем обчислення є:

$$d_{1-2} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}. \quad (3)$$

Знаки приростів координат залежать від четверті, в якій знаходиться лінія 1-2, тобто залежить від знаків $\cos \alpha$ і $\sin \alpha$. Дирекційні кути завжди можна замінити на румби.

Координати точки 2 обчислюють як:

$$x_2 = x_1 + \Delta x_{1-2} \quad (4)$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y_{1-2} \quad (5)$$

Прирости координат обчислюються з точністю, яка відповідає точності польових вимірювань.

Обернена геодезична задача.

Відомо : координати точки 1 X_1 і Y_1 ,
координати точки 2 X_2 і Y_2 ,

Визначити: горизонтальну проекцію d_{1-2}
дирекційний кут α_{1-2} .

Згідно рис.7 можна записати:

$$\Delta x_{1-2} = X_2 - X_1 \quad (6)$$

$$\Delta y_{1-2} = Y_2 - Y_1 \quad (7)$$

За значеннями катетів (Δx і Δy) визначимо гострий кут:

$$\operatorname{tgr}_{1-2} = \frac{\Delta y_{1-2}}{\Delta x_{1-2}}. \quad (8)$$

Звідки

$$r_{1-2} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta y_{1-2}}{\Delta x_{1-2}}. \quad (9)$$

Знаки приростів координат Δx і Δy визначають, в якій чверті знаходяться даний напрямок. Згідно з рис... Δx і Δy має знак плюс, тобто даний напрямок знаходиться в першій чверті, де тоді $\alpha_{1-2} = r$.

Горизонтальне проекція лінії може бути визначене тричі:

$$d = \frac{\Delta x}{\cos \alpha} = \frac{\Delta y}{\sin \alpha} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}. \quad (10)$$

Співпадання результатів є надійним контролем розв'язання цієї задачі.

7. Камеральні роботи (обчислення журналу, складання схеми, обчислення відомості висот)

Камеральні роботи розпочинають з опрацювання *польового журналу* (див. табл.1). Значення горизонтальних кутів на кожній станції при двох положеннях вертикального круга (КП і КЛ) та їх середні значення, також середні значення із двох вимірів довжин ліній (прямо-зворотньо) обчислюють в полі.

В камеральних умовах визначають горизонтальні проекції виміряних довжин ліній, приймаючи до уваги кути нахилу

$$d = S \cdot \cos \nu. \quad (11)$$

таблиця 1

ЖУРНАЛ теодолітного знімання ділянки місцевості

Номери станцій	Точки наведення	Відліки горизонтального круга, (° ')	Значення кута (° ')	Середній кут (° ')	Довжини ліній, (м)	Кут нахилу лінії, (° ')	Горизонтальне прокладення (м)
1	2	3	4	5	6	7	8
I		КП			<u>1-2</u>		167,57
	5	204 27	96 17		167,61		
	2	108 10			167,65		
		КЛ			167,63	+1° 30'	
	5	241 56		96° 16',5			
	2	145 40	96 16				

Далі за результатами складають *схему теодолітного ходу*. Схема викреслюється так, щоб горизонтальні кути та довжини ліній приблизно відповідали обчисленим в журналі. На схему виписуються середні значення відповідних кутів та горизонтальних прокладень ліній, практична $\sum \beta_{i\bar{i}0}$, теоретична суми кутів $\sum \beta_{0\bar{a}i\bar{i}0}$, а також практична $f_{\beta_{i\bar{i}0}}$ та допустима кутові нев'язки $f_{\beta_{i\bar{i}0}}$.

Практичну суму кутів $\sum \beta_{np}$ одержують сумуючи середні значення горизонтальних кутів

$$\sum \beta_{np} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5; \quad (12)$$

Теоретичну суму кутів в багатокутнику обчислюють за формулою

$$\sum \beta_{теор} = 180^0 (n - 2); \quad (13)$$

де n - кількість кутів ;

Кутову нев'язку обчислюють за формулою

$$f_{\beta_{np}} = \sum \beta_{np} - \sum \beta_{теор}; \quad (14)$$

Допустиму куту нев'язку визначають

$$f_{\beta_{дон}} = 1' \cdot \sqrt{n} . \quad (15)$$

Куту нев'язка не повинна перевищувати допустимої.

Обчислення координат точок теодолітного ходу виконують у спеціальній відомості (табл..2).

Таблиця 2

ВІДОМІСТЬ

обчислення координат теодолітного ходу від т. _____ до т. _____

№№ вершин полігону	К у т и β		Дирекц. кути α	Горизонт. проекція ліній (м) d	Прирости координат				Координати, м	
	Виміряні	Ув'язані			Обчислені		Ув'язані		X	Y
					$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$	$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$		
1	2	3	4	7	8	9	10	11	12	13

Зі схеми виписують середні значення горизонтальних кутів і горизонтальні проекції ліній. Виконують ув'язку горизонтальних кутів ходу. Для цього куту нев'язку $f_{\beta_{np}}$ розподіляють порівну з протилежним знаком на всі виміряні кути у вигляді поправки.

Контролем правильності розподілу нев'язки є сума поправок δ , тобто

$$\sum \delta_i = -(f_{\beta}), \quad (16)$$

а також сума виправлених кутів повинна бути рівною теоретичній $\sum \beta_{випр} = \sum \beta_{теор}$.

Обчислюють дирекційні кути

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^0 - \beta_2; \quad (17)$$

де α_{1-2} – вихідний дирекційний кут, β – праві за ходом кути.

За формулами прямої геодезичної задачі обчислюють прирости координат:

$$\Delta x = d \cdot \cos \alpha \quad (18)$$

$$\Delta y = d \cdot \sin \alpha \quad (19)$$

Далі сумують обчислені значення приростів координат. Для зімкненого ходу ці суми дорівнюють нев'язкам

$$f_{\Delta x} = \sum \Delta x_{np}; \quad f_{\Delta y} = \sum \Delta y_{np} . \quad (20)$$

Обчислюють абсолютну нев'язку ходу

$$f_{абс} = \sqrt{f_{\Delta x}^2 + f_{\Delta y}^2} . \quad (21)$$

І відносну нев'язку

$$f_{відн} = \frac{f_{абс}}{P} \leq f_{відн.дон} , \quad (22)$$

де P – периметр ходу.

Допустима нев'язка складає $f_{відн.дон} = \frac{1}{2000}$.

Якщо відносна нев'язка ходу менша за допустиму або рівна їй, то нев'язки $f_{\Delta x}, f_{\Delta y}$ в приростах слід розподілити шляхом введення поправок в обчислені прирости координат пропорційно довжинам ліній ходу. Поправки мають знак, протилежний знаку нев'язки; їх заокруглюють до цілих сантиметрів і виписують над приростами. Сума поправок дорівнює нев'язці з оберненим знаком.

Сума виправлених приростів координат повинна дорівнювати нулю:

$$\sum \Delta x_{\text{випр}} = 0; \quad \sum \Delta y_{\text{випр}} = 0 \quad (23)$$

Координати вершин теодолітного ходу обчислюють за виправленими приростами координат

$$X_{n+1} = X_n + \Delta x_{n,n+1}; \quad Y_{n+1} = Y_n + \Delta y_{n,n+1}. \quad (24)$$

Контролем правильності обчислення координат точок зімкнутого ходу є отримання координат першої (початкової) точки – X_1 і Y_1

8. Побудова плану

Побудову плану виконують у такій послідовності:

- розмічують та викреслюють координатну сітку, за допомогою шаблону або поперечного масштабу та вимірника. Довжини сторін квадратів повинні збігатися з номінальними з точністю 0,2 мм, а діагоналі – з точністю 0,3 мм. Лінії сітки квадратів підписують відповідно до масштабу плану та координат точок теодолітного ходу. При цьому необхідно пам'ятати, що лінія "X" проходить у напрямі з півдня на північ, а лінія "Y" - із заходу на схід.
- Наносять на координатну сітку точки теодолітного ходу за їхніми координатами. Перед нанесенням точок визначають квадрат, в якому вони знаходяться.

Для прикладу на рис.8 розглянемо нанесення точки 1 з координатами $X_1=+520,00\text{м}$, $Y_1=+680,00\text{м}$. Користуючись поперечним масштабом і вимірником, відкладають від лінії $X=+500\text{м}$ догори на двох вертикальних лініях сітки $20,00\text{ м}$ в масштабі плану і проводять допоміжну лінію. Аналогічно від лінії $Y=+600\text{м}$ відкладають вправо відстань $+80,00\text{м}$. Перетин цих допоміжних ліній дасть планове положення точки 1. Таким чином наносять на план всі інші точки теодолітного ходу.

Контролем правильності нанесення точок є перевірка довжин сторін ходу, які повинні збігатися з горизонтальними проєкціями ліній, обчисленими в журналі теодолітного знімання. Допустиме розходження - не більше 0,3 мм.

- Ситуацію на план наносять, користуючись зарисом та викреслюють її згідно з умовними знаками для даного масштабу. Числові записи, нанесені на зарис під час знімання ситуації в полі, на план не наносяться. Всі відстані, позначені в зарисі, наносять на план (як і координати точок) за допомогою вимірника і поперечного масштабу. Способи накладання точок на план відповідають способам їх знімання на місцевості.
- Графічне оформлення плану виконують згідно вимог щодо оформлення планів та карт відповідного масштабу та Умовних знаків для топографічних планів.

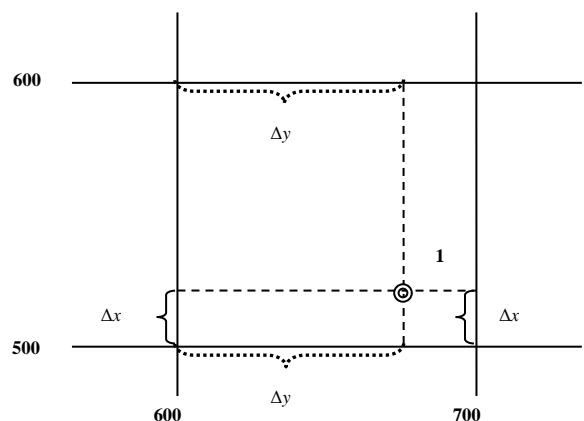


Рис. 8. Приклад нанесення точки за координатами

Тема №6 ТОПОГРАФІЧНЕ ЗНІМАННЯ

1. Види топографічного знімання
2. Суть тахеометричного знімання
3. Прилади для тахеометричного знімання
4. Основні етапи тахеометричного знімання
5. Порядок роботи на станції тахеометричного ходу
6. Камеральні роботи в тахеометричному зніманні
7. Методи обчислення площ на карті

1. Види топографічного знімання

Топографічне знімання – це комплекс робіт для одержання оригіналу топографічної карти. Для його виконання створюють планово-висотну знімальну основу.

Топографічне знімання поділяють на:

- фототопографічне;
- мензульне;
- тахеометричне.

2. Суть тахеометричного знімання

В основі тахеометричного знімання лежить ідея визначення просторового положення точки місцевості при одному наведенні зорової труби на рейку, що встановлена у цій точці.

Планове положення точок визначається полярним методом, а висотне - методом тригонометричного нівелювання. Одночасно складається зарис ділянки, або смуги знімання.

Таким чином, тахеометричне знімання об'єднує в собі два процеси: знімання ситуації і знімання рельєфа. Вона виконується у великих (1:500 - 1:5000) масштабах на невеликих ділянках місцевості, а також при вишукуванні трас лінійних споруд - доріг, каналів, ліній електропередач і т.п.

3. Прилади для тахеометричного знімання

Теодоліт з вертикальним кругом і нитковим віддалеміром називають **тахеометром**. Якщо теодоліт обладнати додатковим вертикальним кругом, на якому нанесені номограмні криві, то він, набуваючи додаткових властивостей, перетворюється в універсальний, швидкодіючий прилад – **номограмний тахеометр**. Зображення номограмних кривих передається в поле зору труби. Таким тахеометром вимірюють на місцевості не лише горизонтальні та вертикальні кути, довжини ліній та магнітні азимути, а й безпосередньо за відліками рейки визначають горизонтальні проекції і перевищення. Широко відомий номограмний тахеометр ТаН. Він є аналогом авторедукційного тахеометра DANLTA 010A, який виготовляли на підприємстві „Carl Zeiss, Jena” у Німеччині.

Електронні тахеометри обладнані мініатюрними ЕОМ і мають автоматичну реєстрацію кутових та лінійних вимірювань. Сучасні електронні тахеометри забезпечують різноманітні вимоги користувачів щодо точності, швидкодії, можливостей програмного забезпечення тощо. Наприклад середня квадратична похибка вимірювання кутів електронними тахеометрами різних класів становить 0,5... 10", а віддалі за однакових умов можуть бути виміряні майже з тією самою точністю із застосуванням відбивачів або без них. Програмне забезпечення сучасних електронних тахеометрів передбачає звичайні для тахеометричного знімання обчислення горизонтальних прокладень ліній, перевищень, висот, приростів координат, координат точок тощо. Сьогодні електронні тахеометри випускають всі відомі приладобудівні фірми: Leica, Trimble-Zeiss (Trimble -Nikon), Geotronics, Sokkia, УОМЗ, Topcon (Японія) та інші.

4. Основні етапи тахеометричного знімання

I. Підготовчі роботи:

- 1) складання проекту;
- 2) камеральне рекогностування.

II. Польові роботи:

- 1) польове рекогностування тахеометричних ходів:
 - огляд і обстеження місцевості для уточнення проекту геодезичної мережі;
 - остаточний вибір місць розташування станцій тахеометричного ходу з врахуванням особливостей місцевості (врахування характеру рослинного покриву, забезпечення видимості між пунктами);
- 2) прокладання тахеометричних ходів;
- 3) прив'язка тахеометричних ходів до пунктів ДГМ (передача координат на вихідні станції тахеометричного ходу);
- 4) знімання ситуації і рельєфу.

III. Камеральні роботи:

- 5) обчислення журналу тахеометричних ходів;
- 6) складання схеми ходу;
- 7) обчислення відомості координат;
- 8) обчислення відомості висот;
- 9) побудова плану:
 - викреслювання сітки плану;
 - нанесення станцій тахеометричного ходу за обчисленими координатами на план;
 - нанесення пікетних точок;
 - інтерполяція горизонталей;
 - графічне оформлення плану.

5. Порядок роботи на станції тахеометричного ходу

Тахеометричні ходи – це система ламаних ліній, де горизонтальні кути виміряні теодолітом способом повного прийому, вертикальні кути виміряні теодолітом в прямому і зворотньому напрямках, а довжини ліній виміряні за допомогою ниткового віддалеміра теж в прямому і зворотньому напрямках. Результати вимірів записують в журнал. Тахеометричні ходи можуть бути зімкненими, тобто утворювати полігон і опиратися на один пункт ДГМ, або бути розімкненими і в цьому випадку опиратись на два пункти ДГМ .

Під час роботи на станції з тахеометром необхідно:

- зцентрувати прилад над точкою оптичним центриром або нитковим виском;
- привести вертикальну вісь тахеометра в прямовисне положення, інакше кажучи, віднівелювати прилад;
- зорієнтувати тахеометр, тобто встановити на горизонтальному крузі відлік $0^{\circ}00'$ по певному напрямку лінії тахеометричного ходу.
- Виміряти висоту тахеометра i ;
- При *КП* навести зорову труби на рейку на висоту приладу або висоту l і взяти відлік по рейці по нитковому віддалеміру і відлічити вертикальний круг;
- Навести зорову труби на низ рейки і відлічити горизонтальний круг;
- Перевести трубу через zenit і при *КЛ* навести зорову труби на рейку на висоту приладу або висоту l і взяти відлік по рейці по нитковому віддалеміру і відлічити вертикальний круг;
- Навести зорову труби на низ рейки і відлічити горизонтальний круг;
- Обчислити значення горизонтальних кутів при двох положеннях вертикального круга (КП і КЛ) та їх середні значення;
- Обчислити *МО*.

6. Камеральні роботи в тахеометричному зніманні

Камеральні роботи розпочинають з опрацювання *польового журналу* (див. табл.1). Значення горизонтальних кутів на кожній станції при двох положеннях вертикального круга (КП і КЛ) та їх середні значення, **МО** на кожній станції обчислюють в полі.

В Журналі обчислюють кути нахилу **v** в залежності від положення вертикального круга, горизонтальних проекцій віддалей **d** і перевищень **h** (див. тему №)

Таблиця 1

ЖУРНАЛ тахеометричного знімання ділянки місцевості

№№ пікетів	Відлік по рейці (метри)	Відлік горизонт. круга (градуси)	Відлік вертикального круга (градуси)	Місце нуля МО (градуси)	Кути нахилу (градуси)	Виміряна віддаль (D, м)	Горизонт. проекція віддалі (d, м)	Перевищення (h, м)	Висоти (позначки) точок (H, м)	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			станція 1				i = 1,40 м		H ₁ =	м
					КЛ					
3	70,3	217° 27'	+0° 24'		0° 24'	70,30	70,30	+0,49		
2	75,5	161 31	+3 32		3 32	75,50	75,21	+4,64		
		55 56								
					КП					
3	70,3	306 49	-0 24	0 00	0 24	70,30	70,30	+0,49		
2	75,5	250 51	-3 32		3 32	75,50	75,21	+4,64		
		55 58								
	сер.	55 57								
Тахеометр орієнтовано за напрямком лінії 1-2 при КЛ)										
11	40,2	0 00	+2 52							
12	44,3	31 10	+3 11							дер.

Далі за результатами складають *схему тахеометричного ходу*. На схему ходу виписуються з журналу середні значення горизонтальних кутів і по чотири значення **h** і **d**, з яких знаходять середнє. Знак **h_{сер}** відповідає знаку перевищення в прямому ході.

Обчислення висот станцій виконують у відповідні відомості (табл.2)

Таблиця 2

ВІДОМІСТЬ ув'язки перевищень та обчислення висот

№№ точок ходу	Горизонтальні проекції віддалей, (м)	Перевищення обчислені, (м)	Перевищення ув'язані, (м)	Висоти точок, (м)
1	2	3	4	5

У відомості виписують значення **d_{сер}** і **h_{сер}** зі схеми. Обчислюють периметр ходу **P** і знаходять практичну суму перевищень $\Sigma h_{np} = h_{1-2} + h_{2-3} + h_{3-1}$.

Теоретична сума перевищень Σh_m зімкнутого ходу дорівнює 0, тобто $\Sigma h_m = 0$. Отже, висотна нев'язка $f_h = \Sigma h_{np}$.

Допустиму висотну нев'язку тахеометричного ходу в сантиметрах обчислюють за формулою

$$f_{hood} = \frac{0,04 \cdot P}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

де n - кількість перевищень в ході, P - його периметр.

Якщо $f_h \leq f_{h\text{доп}}$, то її розподіляють з протилежним знаком у перевищення пропорційно довжинам відповідних ліній, тобто

$$v_{h_i} = -\frac{f_h}{P} d_i . \quad (3)$$

Обчислюють ув'язані перевищення

$$ув.h_{1-2} = h_{1-2} + v_{h_{1-2}} \text{ і т.д.} \quad (4)$$

Обчислюють висоти станцій

$$H_2 = H_1 + ув.h_{1-2} \text{ і т.д.} \quad (5)$$

Одержані висоти станцій переносяться в журнал. Після цього обчислюють висоти пікетів додаванням до висоти станції відповідного перевищення на пікет. Знак перевищення необхідно враховувати.

Обчислення прямокутних координат точок тахеометричного ходу виконують аналогічно як і теодолітного ходу. Допустиму лінійну нев'язку обчислюють за формулою

$$f_{\text{лінійна}} = \frac{1}{400\sqrt{n}} . \quad (6)$$

Побудову топографічного плану виконують у такій ж послідовності як і план теодолітного знімання:

- спочатку будують координатну сітку і оцифровують лінії сітки.
- наносять на координатну сітку станції тахеометричного ходу за координатами, обчисленими у відомості
- наносять пікети на план за даними польового журналу та зарису за допомогою транспортира або тахеометричного круга. За вихідний (нульовий) напрям приймають лінію ходу, за якою орієнтували тахеометр перед зніманням на станції. При цьому кожний пікет на карті позначають крапкою, а біля неї олівцем пишуть номер пікету і його висоту;
- користуючись зарисом, наносять ситуацію на план так само як і рельєфні точки, тими ж методами, які застосовувались під час знімання;
- зі заданим перерізом рельєфу інтерполюють висоти і викреслюють горизонталі.

7. Методи обчислення площ на карті

Для розв'язання багатьох інженерних задач необхідно знати площу земельної ділянки або угідь на цій ділянці. Площі можуть визначитись **аналітичним, графічним і механічним** методами або їх комбінацією. В загальному точність визначення площ залежать від точності вимірювань на місцевості, точності плану (карти) і деформації паперу.

Якщо нам відомі координати полігону, то його площу можемо обчислити **аналітично**.

$$S = \frac{1}{2} \sum_1^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad (7)$$

або

$$S = \frac{1}{2} \sum_1^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}) \quad (8)$$

Формули (7) і (8) рівноцінні. Обчислення площ виконують для контролю за двома формулами. Точність цього методу визначення площ залежить лише від точності координат.

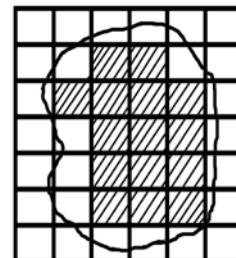
Для визначення площ невеликих ділянок на планах або картах, коли є невисокі вимоги до точності, використовують **графічний** спосіб. В цьому способі ділянку поділяють на геометричні фігури (трикутники, прямокутники, трапеції) або використовують палетку. Вимірюючи відповідні елементи фігури, за формулами геометрії вираховують площі цих фігур. Загальна площа буде складатися з суми площ окремих фігур. Визначення площ ділянок з криволінійними межами краще виконувати за допомогою квадратної палетки. Палетка (рис. 3) являє собою аркуш кальки, на який наносять сітку квадратів зі сторонами 1-5 мм. Знаючи довжину сторони квадрата і масштаб плану, легко підрахувати площу одного квадрата. Для визначення площі ділянку палетку довільно накладають на план, підраховують кількість повних квадратів n_1 , розташованих в середині ділянки. З неповних квадратів «на око» утворюють повні квадрати n_2 . Загальна площа даної ділянки буде:

$$S = s(n_1 + n_2),$$

де n_1 - кількість повних квадратів;

n_2 - кількість квадратів, утворених з неповних квадратів;

s - площа одного квадрата.



В інженерній практиці набагато ширше використання отримав **механічний** спосіб, заснований на використанні спеціального приладу планіметра. Вперше планіметр був запропонований в 1856р. одночасно швейцарцем Амслером і російським механіком Зарубіним. На сьогоднішній день найбільш розповсюдженим є полярний планіметр типу ПП-2К та його модернізована модель ПП-М

Для визначення площі встановлюють планіметр так, щоб полюс був закріплений поза фігурою, а марка обвідного важеля знаходилася у довільній точці контуру фігури. Відлічують шкалу лічильного механізму (відлік m_1 – 4 цифри) та плавно обводять маркою увесь контур фігури, повертаючись у вихідну точку. Зчитують другий відлік – m_2 . Різниця відліків ($m_2 - m_1$) є величиною площі фігури у поділках планіметра.



Фото 1. Полярний планіметр ПП

Площу фігури визначають за формулою

$$S = \tau(m_2 - m_1), \quad (9)$$

де τ – ціна однієї поділки планіметра (m^2 або га)

Для визначення ціни поділки планіметра τ необхідно:

- в одній з вершин квадрата координатної сітки, площа якого може бути обчислена аналітично, взяти початковий відлік на лічильному механізмі планіметра – m_1 ;
- обвести контур квадрата до початкової точки (вершини) і взяти кінцевий відлік – m_2 ;
- знайти різницю відліків ($m_2 - m_1$);
- описані дії проводять двічі. Якщо розбіжність в різницях ($m_2 - m_1$) не перевищує однієї сотої її величини, то беруть середнє значення $(m_2 - m_1)_{ср}$;
- ціни поділки планіметра τ визначають за формулою

$$\tau = \frac{S}{(m_2 - m_1)_{ср}} \quad (10)$$

Тема №7
ГЕОМЕТРИЧНЕ НІВЕЛЮВАННЯ

1. Суть геометричного нівелювання
2. Державна нівелірна мережа
3. Класифікація нівелірів
4. Будова нівелірів
5. Основні геометричні умови
6. Перевірка нівелірів
7. Нівелірні рейки
8. Порядок роботи на станції технічного нівелювання

1. Суть геометричного нівелювання

Нівелюванням називають геодезичні роботи, під час яких визначають перевищення між точками.

Перевищення – це різниця висот двох точок. Знаючи висоту початкової точки і перевищення між точками можна обчислити висоти решти точок.

В геометричному нівелюванні визначення перевищень ґрунтується на принципі візування горизонтальним променем, Горизонтальність візирного променя контролюється циліндричним рівнем при зоровій трубі або компенсатором кутів нахилу.

Геометричне нівелювання виконують нівеліром та комплектом рейок. Відомо два способи нівелювання – нівелювання „вперед” та „з середини”.

Розглянемо один із них - спосіб геометричного нівелювання “з середини” .

Нехай в точках **A** і **B** (рис.1) прямовисно встановлені рейки **P₁** і **P₂**, а між ними посередині - нівелір, зорова труба якого приведена в горизонтальне положення. «Посередині» означає, що відстань від нівеліра до рейок приблизно однакова, при цьому нівелір не обов’язково знаходиться в створі рейок. Наводять візирну вісь труби нівеліра на рейку **P₁** і беруть по ній відлік **a**, тобто відраховують число поділок від основи рейки до горизонтальної нитки сітки ниток. Потім наводять трубу на рейку **P₂** і беруть відлік **в**.

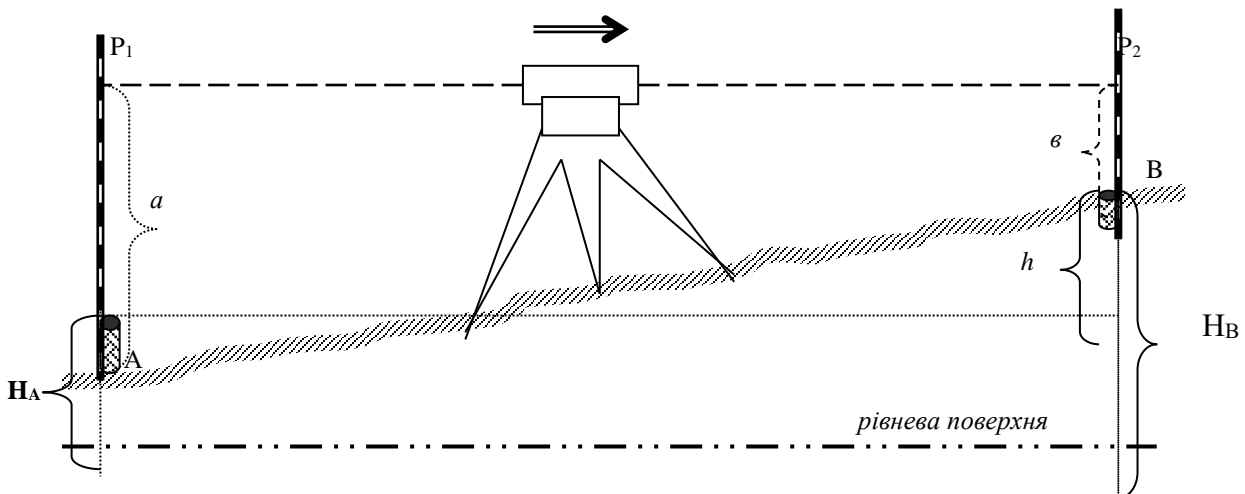


Рис. 1. Геометричне нівелювання зі середини

Згідно з рис.1 запишемо

$$h = a - b. \quad (1)$$

Якщо нівелювання виконують в напрямку від **A** до **B**, то рейку **P1** називають задньою, а **P2** - передньою. Тоді

$$h = 3 - \Pi. \quad (2)$$

При $a > b$ перевищення h додатне, при $a < b$ – від’ємне.

2. Державна нівелірна мережа

За точністю і призначенням державна нівелірна мережа поділяється на мережі I, II, III і IV класів. Принцип її побудови такий як і планових мереж – перехід від більш точних мереж до менш точних.

Нівелірні мережі I, II класів є головною висотною основою, за допомогою якої встановлюється єдина система висот на всій території країни, а також вони служать для розв’язку наукових завдань, таких як вивчення вертикальних рухів земної кори, визначення рівнів води в морях і океанах тощо.

Лінії нівелювання I, II кл. прокладають переважно вздовж залізниць, автомобільних шляхів, в місцях з найбільш сприятливими ґрунтовими умовами і найменш складним рельєфом. Ходи нівелювання I класу прокладають у вигляді великих полігонів периметром в декілька сотень кілометрів. В результаті цього визначають висоти пунктів A, B, C, D (рис. 2).

Нівелірна мережа I класу виконується з найвищою точністю (СКП перевищення на 1 км ходу складає 0,3-0,5 мм). Нев’язка в ходах та полігонах не повинна перевищувати $\pm 3 \text{ мм } \sqrt{L}$, де L – довжина ходу в км. Повторне нівелювання виконується не рідше ніж через 25 років, а в сейсмічних районах через 15 років.

Нівелірні мережі II класу складаються з окремих ходів або полігонів до 40 км, які опираються на пункти I класу. В результаті отримують висоти пунктів a, b, c, d, e, f і т. д. Нев’язка в ходах та полігонах не повинна перевищувати $\pm 5 \text{ мм } \sqrt{L}$.

Нівелірні мережі III і IV класу створюють з метою згущення висотної основи для забезпечення топографічного знімання всіх масштабів та розв’язання інженерно-геодезичних задач.

Мережі III класу створюються в середині полігонів I і II класів (точки 1, 2, 3, 4...). Нев’язка в ходах та полігонах не повинна перевищувати $\pm 10 \text{ мм } \sqrt{L}$

Ходи нівелювання IV класу є згущенням мережі III класу. В порівнянні з нівелюванням I класу їх точність на порядок нижча і складає $\pm 20 \text{ мм}$ на 1 км ходу.

Технічне нівелювання, як правило використовується для розв’язку інженерно-геодезичних та землепорядних задач. Точність його складає $\pm 50 \text{ мм}$ на 1 км ходу.

Густота пунктів залежить від масштабу знімання, рельєфу місцевості, вимог до точності розв’язання тих чи інших інженерних задач.

За нуль системи висот прийнятий нульовий штрих на мідній рейці (футшток), яка прикріплена до опори моста через обвідний канал в Кронштадті на Балтійському морі. Через це і система висот отримала назву "Балтійська".

Якщо висоти точок визначаються від рівневої поверхні моря (Кронштаський футшток), то вони називаються абсолютними, від довільної рівневої поверхні-умовними. Висоти точок A і B (рис. 1) від рівневої поверхні моря будуть абсолютними. Висота точки B відносно рівневої поверхні точки A буде умовною або перевищенням точки B над точкою A.

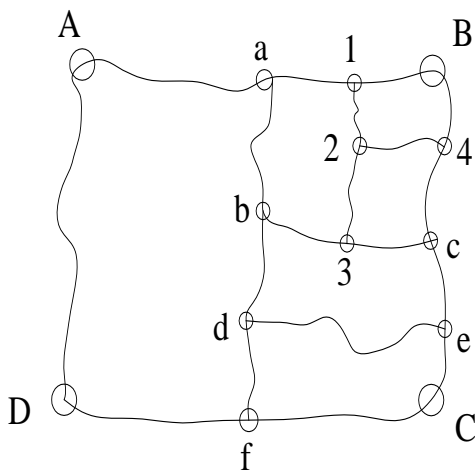


Рис.2. Нівелірна мережа

Лінії нівелювання всіх класів через 5-7 км закріплюються на місцевості постійними знаками

Розрізняють три види знаків ґрунтові: репери; стінні репери; марки.

Для всіх класів нівелювання ґрунтові репери закладають в ґрунт нижче лінії його промерзання (рис. 3).

Стінні репери та марки закладаються в фундамент капітальних будинків, які вже перестали деформуватись, опори мостів тощо. На кожний репер складають карточку прив'язки до місцевих предметів.

Місця закладення нівелірних знаків вибирають таким чином, щоб забезпечити їх тривале збереження і стійкість, а також з практичної точки зору, тобто щоб їх було зручно використовувати.

Типи центрів вибирають з врахуванням фізико-географічних умов району робіт, твердості і глибини промерзання ґрунтів та інших особливостей місцевості.

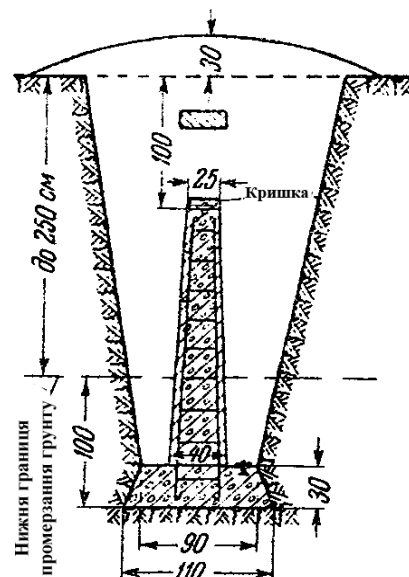


Рис. 3

3. Класифікація нівелірів

Нівеліри класифікують за точністю, способом зчитування відліків та за способом встановлення візирної осі в горизонтальне положення.

За точністю нівеліри поділяються на:

- Високоточні (НА-1, Н-05, Ni 002, DNA 03), середньоквадратична похибка (скп) вимірювання перевищень яких на 1 км подвійного ходу складає $\pm 0,5$ мм. Використовуються для нівелювання I, II класу;
- Точні (Н-3, НС4, Ni 025, Sprinter 100), скп вимірювання перевищень яких на 1 км подвійного ходу складає ± 3 мм. Використовуються для нівелювання III, IV класу;
- Технічні (Н10КЛ), скп вимірювання перевищень яких на 1 км подвійного ходу є більше ніж ± 10 мм. Використовуються для інженерно-геодезичних вишукувань, будівельних робіт.

За способом зчитування відліків нівеліри поділяються на :

- Звичайні, де зчитування відліків відбувається візуально;
- Цифрові, конструкції яких передбачений автоматичний режим відлічування рейки зі штриховим кодом, контроль результатів вимірювань та їх опрацювання на ЕОМ. Вважають, що використання цифрових нівелірів підвищує продуктивність робіт до 50%.

За способом встановлення візирного променя в горизонтальне положення поділяються на

- з компенсатором (самовстановлення візирного променя);
- нівеліри з циліндричним рівнем при зоровій трубі.

При наявності компенсатора до назви типу нівеліра додають букву "К" (наприклад, Н-10К). Частина нівелірів виготовляють з лімбами для вимірювання горизонтальних кутів, тоді додають букву "Л" (Н-3Л). Цифри у шифрі нівеліра означають похибку (мм) визначення перевищень на 1 км подвійного ходу.

4. Будова нівелірів

В рівневих нівелірах типу Н-3 (фото 1), Н-10КЛ для встановлення візирного променя в горизонтальне положення є циліндричний рівень, прикріплений до зорової труби. Бульбашка циліндричного рівня приводять в нуль-пункт за допомогою елеваційного гвинта.

Сферичний рівень в нівелірах служить для приблизного встановлення вертикальної осі в прямовисне положення. Бульбашку сферичного рівня приводять в нуль-пункт за допомогою трьох підймальних гвинтів.

Отже основними осями нівеліра є:

OO' - вертикальна вісь (вісь обертання);

KK' - вісь сферичного рівня;

VV' - візирна вісь зорової труби;

RR' - вісь циліндричного рівня.

Поле зору нівеліра показано на рис. 4. У віконці зліва видно проектується кінців бульбашки циліндричного рівня. Коли бульбашка знаходиться в нуль-пункті проекції кінців бульбашки утворюють параболу.

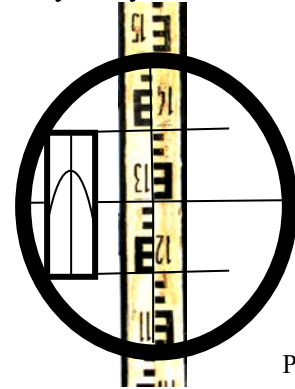


Рис. 4



Фото 1.

5. Основні геометричні умови

Нівелір вважають придатним до роботи, якщо виконуються наступні геометричні умови:

- вісь OO' повинна бути паралельна до осі KK' ;
- вісь VV' повинна бути паралельна до осі RR' (головна умова);
- вертикальна нитка сітки ниток повинна бути паралельна до осі OO' .

6. Перевірка нівелірів

Перевірка нівеліра розпочинається з перевірки справності гвинтів. Після цього перевіряють геометричні умови, яким мають відповідати осі нівеліра.

1. Перевірка круглого рівня

Умова перевірки: вісь сферичного рівня KK' повинна бути паралельна до осі обертання нівеліра OO' .

2. Перевірка правильності встановлення сітки ниток

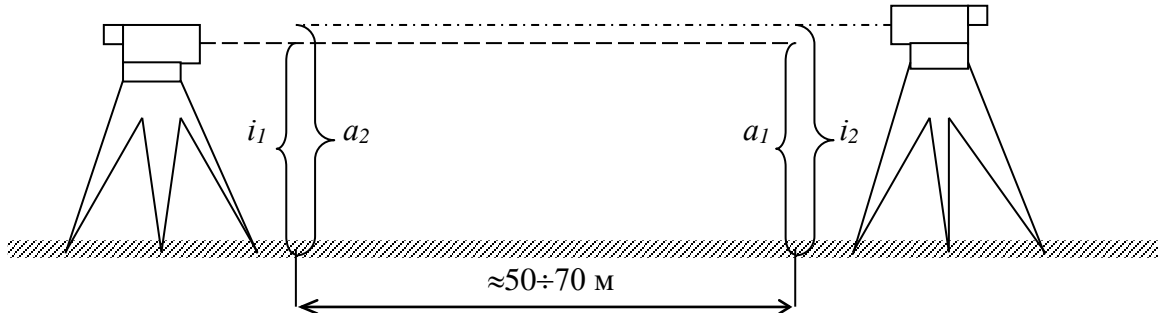
Умова перевірки: Головний горизонтальний штрих сітки ниток має бути горизонтальний, коли нівелір приведено в робочий стан.

3. Перевірка головної геометричної умови

Умова перевірки (в загальному випадку): Візирний промінь у встановленому в робочий стан нівелірі має бути горизонтальним.

В нівелірах типу Н-3, Н-10КЛ головна умова забезпечується циліндричним рівнем скріпленим зі зоровою трубою. Тому умова перевірки звучить наступним чином

Умова перевірки (для рівневих нівелірів): Проекція осі циліндричного рівня і візирної осі зорової труби на прямокутну і горизонтальну площини мають бути паралельні.



$$x = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 - i_2}{2} \leq 4 \text{ мм}$$

7. Нівелірні рейки

Рейки використовуються в геометричному нівелюванні для визначення перевищень та відстаней. При роботі з оптичними нівелірами, в залежності від класу нівелювання, застосовують рейки вітчизняного виробництва - РН-05, РН-3, РН-10 та зарубіжного - TS3-3E, TS3-4E, РН-3000. Фібергласові та алюмінієві кодові рейки, наприклад, LD13, LD23, BGS40 застосовуються в роботі з цифровими (електронними) нівелірами.

Шифр рейки „РН” означає - рейка нівелірна, а число вказує на середню квадратичну похибку вимірювання перевищення у міліметрах на 1 км подвійного ходу.

а) б) в) г)

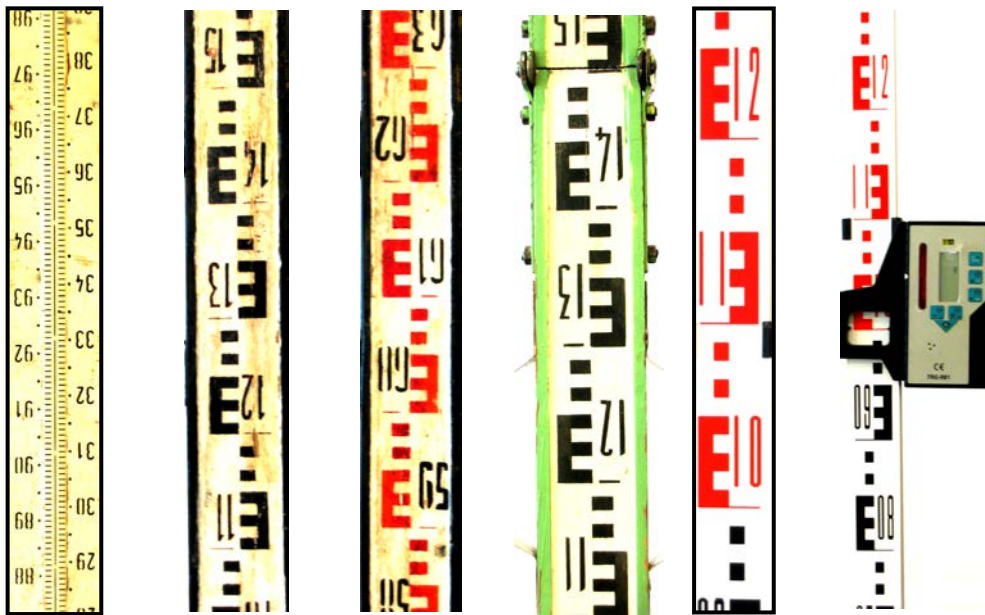


Рис.5. Нівелірні рейки

Рейки виготовляють з витриманого дерева хвойних порід у вигляді брусків шириною до 10см, завтовшки 2-3см, висотою 3-4м. Рейки бувають односторонні або двосторонні, суцільні і складні.

На двох сторонах рейок поділки нанесені через 1см, з однієї – чорні, з другої – червоні. Дециметрові поділки – підписані. Чорна сторона рейки – основна. Відлік поділок починається з нуля. Початок відліку червоної сторони зміщений на деяку величину, наприклад 4785. Різниця відліків червоної і чорної шкали рейки називається п'яткою рейки. Під час нівелювання різниця відліків червоної та чорної шкали рейки має розходитися на величину різниці п'ятки в межах точності нівелювання.

На рис.5 (а, б, в) подані фрагменти рейок РН-05, РН-3, і РН-10.

Рейка РН-05 – одностороння з інварною смугою, на якій нанесені штрихи через 5мм. Вона має основну та додаткову шкали і застосовується для високоточного нівелювання I і II класів із похибкою вимірювання перевищень 0,5мм на 1км ходу.

Рейка РН-3 – двостороння, (чорна та червона сторони), шашкова, призначена для нівелювання III і IV класів з похибкою вимірювання перевищень 3мм на 1км ходу.

Рейка РН-10 використовується в технічному нівелюванні з похибкою визначення перевищень 10мм на 1км ходу.

На рисунку 5.2 подані фрагменти односторонньої алюмінієвої розсувної 3-х метрової шашкової рейки з приймальним давачем для підвищення ефективності нівелювання лазерними нівелірами.

Рейки мають ручки для їх утримування у прямовисному стані під час роботи, а також можуть мати сферичний рівень.

Перед роботою рейки досліджують (компарують):

- Рейка повинна бути прямолінійною. Допускається прогин не більше 15 мм;
- Перевіряють різницю п'яток пари рейок;
- За допомогою спеціальної лінійки (Женевської) визначають середню довжину 1 м пари рейок;
- Визначають СКП дециметрових ділень рейки. Випадкова похибка не повинна перевищувати 1 мм.

Після виконання нівелювання в перевищення вводять поправки за компарування рейок.

8. Порядок роботи на станції технічного нівелювання

- нівелір встановлюють приблизно на однаковій віддалі до задньої і передньої рейки і приводять його в робоче положення;
- наводять середню нитку нівеліра на **задню** рейку, діоптрійним кільцем та фокусувальним гвинтом досягають чіткого зображення сітки ниток та рейки, елеваційним гвинтом приводять бульбашку циліндричного рівня в нульпункт (в полі зору нівеліра видно суміщені кінці половинок рівня у вигляді параболи) і відраховують **чорну** сторону рейки (в таблиці 1 відлік (1));
- переводять трубу на **передню** рейку, досягають чіткого зображення сітки ниток та рейки, елеваційним гвинтом приводять бульбашку циліндричного рівня в нульпункт і беруть відлік **чорної** сторони (2);
- не змінюючи положення нівеліра, повертають **передню** рейку **червоною** стороною до спостерігача і беруть відлік рейки (3);
- закінчують спостереження на станції відліком (4) **червоної** сторони **задньої** рейки.

Результати спостереження записують в журнал (таблиця 1)

На кожній станції обчислені перевищення (7), (8) отримують як різниці відліків (1) - (2) та (4) - (3), тобто перевищення h_1 і h_2 обчислюють як різницю відліків задніх (а) і передніх (в) рейок і записують в графу б журналу з відповідними знаками.

$$h_1 = a_{\text{чорн.}} - в_{\text{чорн.}} \quad (3)$$

$$h_2 = a_{\text{черв.}} - в_{\text{черв.}} \quad (4)$$

Контроль: на станції різниця між перевищеннями, обчисленими за чорною та червоною сторонами рейок не повинна перевищувати 5 мм!

На кожній станції обчислюють „п’ятки” рейок $P_{задн.}$, $P_{пер.}$ (значення (5), (6) в табл. 1) як різниці відліків червоної і чорної сторони задньої та передньої рейок (4) - (1) та (3) - (2), тобто обчислюють

$$P_{задн.} = a_{черв.} - a_{чорн.} \quad (5)$$

$$P_{пер.} = b_{черв.} - b_{чорн.} \quad (6)$$

Контроль: різниця між “п’ятками” рейок не повинна перевищувати 5 мм і дорівнювати різниці перевищень на станції!

Обчислені “п’ятки” записують в графи 3 і 4 під відліками відповідних рейок.

Середні перевищення на станції (значення (9) в табл.1) отримують як середнє арифметичне за формулою

$$h_{сер.} = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (7)$$

Середні значення записують в графу 7.

Таблиця 1

ЖУРНАЛ нівелювання

№ станцій	№ ПК	Відліки рейок			Перевищення			ГН	Висота Н _м
		Задня	Передня	Пром	Обчислене	Середнє	Ув’язане		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	A	1974(1) <u>6754(4)</u> 4780(5)			0837(7) 0835(8)	0836(9)			
	B		1137(2) <u>5919(3)</u> 4782(6)						

Тема №8

ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

1. Генеральний план забудови
2. Будівельна сітка
3. Геодезична підготовка даних для винесення проекту споруди на місцевість
4. Винесення на місцевість проектних кутів, ліній і відміток
5. Розв’язування інженерних задач на будівельному майданчику
6. Спостереження за деформаціями
7. Знімання підземних комунікацій

1. Генеральний план забудови

Основним містобудівним документом є *генеральний план* міста. Він є основою для розробки проектів детального планування забудови, планування міських промислових районів, інженерних споруд, транспортної мережі, благоустрою, озеленення та інших проектних робіт. Для міст з кількістю населення більше 500 тис. генеральний план міста виконується на топографічній карті масштабу 1:10000, для інших населених пунктів – в масштабах 1:5000 – 1:2000.

Генеральний план міста містить наступні документи:

- основне креслення генерального плану;
- план існуючого міста;
- матеріали, що характеризують ідею архітектурно-просторової композиції;
- схеми інженерних мереж;
- схеми транспортних мереж;
- пояснювальну записку.

Проекти детального планування забудови виконуються в складі:

- схеми розміщення району, що проектується в системі міста;
- ескізу забудови і плану червоних ліній (ліній, що визначають границю між житловою забудовою, промисловою, технічною зоною, зоною водних басейнів і транспортними шляхами). Виконується на топографічному плані масштабу 1:500 – 1:2000;
- розмічувального креслення червоних ліній з прив'язкою до опорних споруд і геодезичних пунктів;
- схеми інженерної підготовки території і вертикального розпланування;
- схеми міських інженерних мереж;
- схеми організації руху транспорту і пішоходів;
- поперечні профілі вулиць;
- пояснювальної записки.

Проекти забудови житлового мікрорайону, кварталу, групи окремих споруд, як правило, створюють на основі проекту детального планування.

Основними документами проекту окремої будівлі чи споруди для винесення його на місцевість є:

- генеральний план в масштабі 1:500 – 1:2000, де на топографічній основі нанесені всі будівлі, що проектуються, вказані проектні координати головних точок і відмітки характерних площин. Для складних споруд генплан доповнюється розмічувальним кресленням головних осей (в містах – червоних ліній забудови) з даними прив'язки до пунктів геодезичної основи;
- робочі креслення, на яких детально показано плани, розрізи, профілі всіх частин споруди з розмірами і відмітками;
- проект вертикального розпланування в масштабі 1:1000 – 1:2000. Це проект перетворення фактичного рельєфу місцевості в поверхню з плавними ухілами;
- схеми геодезичної основи будівельного майданчику, відомості координат і висот пунктів геодезичної мережі.

2. Будівельна сітка

Геодезична будівельна сітка є найпоширенішою геодезичною розмічувальною основою при будівництві комплексів промислових і цивільних споруд. Це мережа квадратів або прямокутників, вершини яких закріплені на місцевості і відомі їх координати X, Y, H. Наявність на будівельному майданчику такої сітки дає змогу просто і надійно виносити в натуру основні осі споруд, виконувати детальні розмічувальні роботи та виконавчі знімання.

Створення будівельної сітки складається з наступних етапів:

- Проектування;
- Попереднє розмічування сітки на місцевості і закріплення пунктів;
- Визначення координат пунктів попередньо створеної сітки;
- Редукування пунктів сітки в проектне положення;
- Контрольні вимірювання.

Будівельну сітку проектують на генплані майбутньої споруди або краще на буд генплані, де показані не тільки об'єкти проектування, але й допоміжні і тимчасові об'єкти. Лінії сітки

проектують паралельно до основних осей споруд і достатньо близько до контурів майбутніх споруд. Розташування пунктів будівельної сітки повинно бути зручним для виконання геодезичних робіт. Розміри сторін будівельної сітки залежать від розмірів споруд і повинні бути такими, що забезпечують технологію детального розмічування і контрольних робіт на об'єкті. Довжини сторін приймають 100-400 м і кратними 10 м. Вибір довжин сторін залежить від вимог до точності розмічувальних робіт.

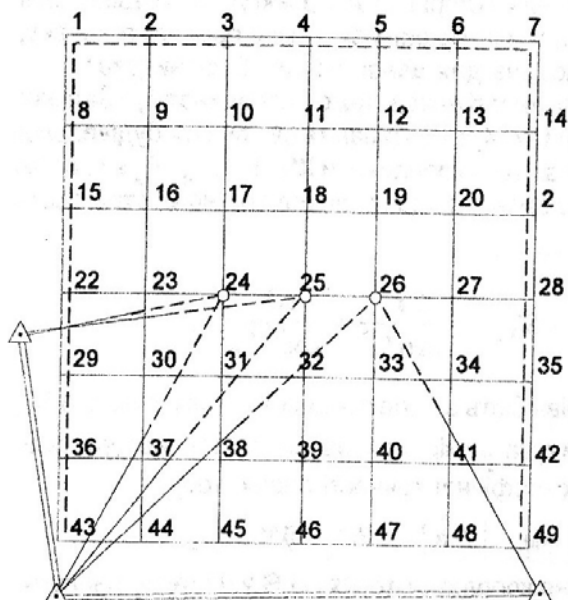


Рис.8.1. Будівельна сітка

будують дві взаємно перпендикулярні осі (22-28, 4-46) (рис. 8.1). Такий метод побудови будівельної сітки називається осьовим. Створні точки вздовж осей відкладають мірною стрічкою або рулеткою, враховуючи при цьому поправки за компарування, температуру і нахил лінії. В кінцевих точках (4, 46, 22, 28) теодолітом будують прямі кути і розмічування продовжують по периметру сітки.

Всі пункти будівельної сітки закріплюють тимчасовими або постійними знаками (рис. 8.2). Найчастіше постійним знаком є залізобетонний моноліт із закладеною у верхній частині металевою пластинкою для фіксації на ній центру знаку. Тимчасові знаки – це дерев'яні стовпці заввишки біля 0,75 м і діаметром близько 0,15 м, в торець яких забитий цвях або вкручений шуруп, що має насічку. Тимчасовими знаками закріплюють пункти будівельної сітки, які будуть знищені під час будівельних робіт. Постійними знаками закріплюють попарні пункти для полегшення виконання розмічувальних робіт.

Для визначення координат пунктів будівельної сітки по зовнішньому її контуру прокладають полігонометрію 1 розряду, а по заповнюючим пунктам – ходи 2 розряду. Координати можуть визначатись і іншими методами.

Якщо будівельний майданчик невеликий і вершини сітки розміщені з високою точністю. То одержані координати мало відрізнятимуться від проектних. Допускається відхилення фактичних координат від проектних в межах 3-5 см.

При проектуванні і розмічуванні на місцевості великих об'єктів, а відповідно і великих будівельних сіток застосовують спосіб редукування (рис.8.3), в якому кінцеві координати

Попередньо розмічують сітку на місцевості методом послідовних наближень. Спочатку виносять на місцевість вихідний напрямок – базис. Базис – це три точки, що розміщені на одній прямій або під кутом 90 в центрі будівельної сітки.

Для цього використовують пункти планової геодезичної основи, які знаходяться на території будівельного майданчика. За координатами вершин будівельної сітки і пунктів планової основи розв'язують обернені геодезичні задачі і визначають необхідні розмічувальні елементи. Точки базису виносять на місцевість з контролем, тобто контролюють створ цих трьох точок або кут 90 між ними.

Далі розпочинають побудову на місцевості сітки квадратів або прямокутників і закріплюють їх вершини. Використовуючи базис на місцевості,

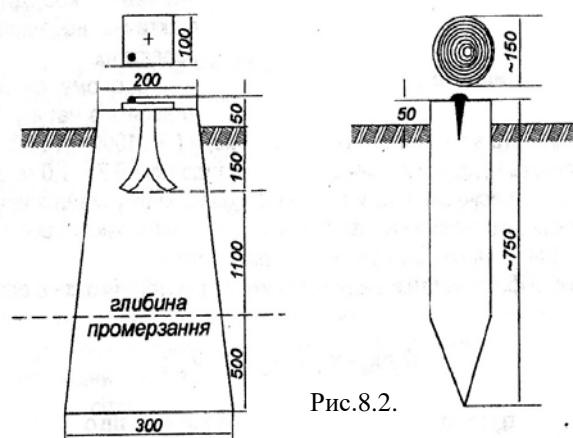


Рис.8.2.

фактично не відрізняються від проектних. В цьому способі після винесення базису всі пункти сітки розмічують з точністю теодолітного ходу і закріплюють їх тимчасовими знаками. Після цього визначають фактичні координати всіх вершин сітки. Порівнюючи фактичні значення з проектними, знаходять елементи редуції.

$$\delta_x = x_{np} - x_{ф}, \quad \delta_y = y_{np} - y_{ф}; \quad tg \alpha = \frac{\delta_y}{\delta_x}; \quad l = \frac{\delta_x}{\cos \alpha} = \frac{\delta_y}{\sin \alpha}$$

За цими елементами переносять фактичний центр пункту в його проектне положення. Після редукування пункти закріплюють постійними знаками. Якщо величина редуції не перевищує 5 мм, то редукування не виконують.

Контрольні вимірювання точності побудови будівельної сітки виконують вибірково, переважно в шахматному порядку. Відхилення фактичних значень кутів від проектного значення не повинно перевищувати $2m\beta$, а ліній $-1/5000 - 1/10000$.

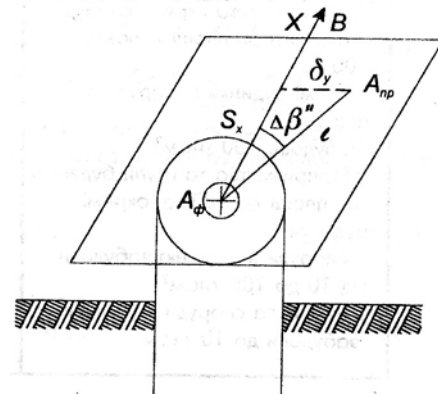


Рис.8.3.

5. Геодезична підготовка даних для винесення проекту споруди на місцевість

Геометричною основою проекту для перенесення його на місцевість є розмічувальні осі споруд, відносно яких в робочих кресленнях даються всі розміри проекту. Головні осі прив'язують до пунктів геодезичної основи. Головними осями в проекті будівлі є осі зовнішніх стін.

Відмітки площин, рівнів і окремих точок проекту задають від умовної поверхні (рівня чистої підлоги першого поверху) і позначають вверху зі знаком плюс, вниз – зі знаком мінус.

Для перенесення проекту споруди на місцевість виконують його геодезичну підготовку, яка складається з наступних етапів:

- складання розмічувальних креслень з даними прив'язки до пунктів геодезичної основи, аналітичний розрахунок проекту;
- розробка проекту геодезичних розмічувальних робіт.

Геодезична підготовка проекту залежить від способу проектування споруди: аналітичного, графо-аналітичного, графічного.

В *аналітичному* способі всі проектні величини знаходять за допомогою математичних обчислень. В процесі аналітичного розрахунку за проектними розмірами вираховують координати перетину осей споруд, проїздів, червоних ліній і т.д. В процесі аналітичної підготовки виконують геодезичну прив'язку проекту, тобто розрахунки, за якими можна розмістити проект на місцевості. Прив'язка проекту здійснюється як до існуючих споруд, так і до пунктів геодезичної основи. Прив'язка проекту до існуючих споруд виконують на забудованій території при реконструкції об'єкта. При цьому хоча б одна точка проекту повинна бути прив'язана до пунктів геодезичної основи.

Графо-аналітичний спосіб базується на тому, що частина даних визначається аналітично, а частина береться графічно з плану.

В *графічному* способі всі дані беруться графічно з плану. Цей спосіб застосовується для проектування споруд, не пов'язаних з існуючими спорудами.

5. Винесення на місцевість проектних кутів, ліній і відміток

Для *побудови на місцевості проектного горизонтального кута* $\beta_{пр}$ (рис.8.4) необхідно у вершині кута А встановити теодоліт. Привести його в робочий стан, спрямувати зорову трубу на точку В і взяти відлік v (як правило близький 0). До цього відліку додають значення кута $\beta_{пр}$. Відкріпивши алідаду, встановлюють на ній знайдений відлік $v + \beta_{пр}$ і в цьому напрямку фіксують на місцевості точку С'. Аналогічні дії виконують при іншому положенні вертикального круга і фіксують точку С''. З двох положень точок знаходять середню С. Побудований кут ВАС = $\beta_{ф}$ приймають за проектний.

Якщо необхідно побудувати проектний кут з підвищеною точністю, то знайдений в першому наближенні кут ВАС вимірюють декількома прийомами і більш точно визначають його фактичне значення. Різниця між проектним і вимірним значенням кута дасть величину поправки, яку необхідно ввести для уточнення побудованого кута.

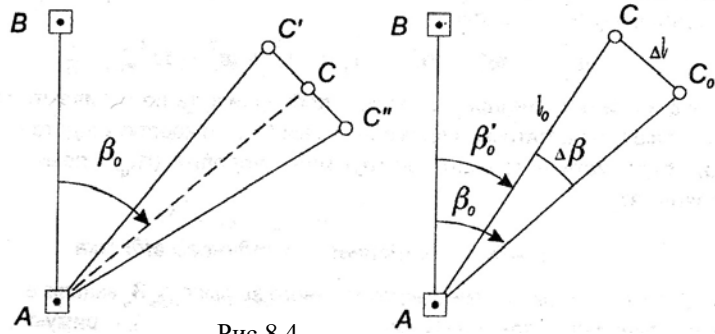


Рис.8.4.

$$\delta\beta = \beta_{пр} - \beta_{ф}$$

Знаючи проектну відстань $AC = l$, обчислюють лінійну поправку (редукцію) $\delta l = CC_0$

$$\delta l = l \delta\beta'' / \rho''$$

Відкладаючи за допомогою лінійки з міліметровими поділками значення δl зі своїм знаком на лінії перпендикулярній до AC, отримують точку C_0 . Для контролю ВАС₀ вимірюють повторно.

Винесення в натуру горизонтального прокладення є оберненою задачею вимірювання лінії і виконують його методом редукування. Для цього на місцевості спочатку відкладають проектну довжину лінії $AB = S$ і отримують точку В' (рис.8.5). А потім у відкладену відстань вводять поправку. Якщо поправка ΔS має знак плюс, то її відкладають у напрямку продовження лінії, а якщо ΔS має від'ємний знак, тоді поправку відкладають у протилежному напрямку, тобто у напрямку зменшення лінії.

$$D = S + \Delta S,$$

де

$$\Delta S = -\delta_k - \delta_t - \delta_{v,h}$$

Поправка за компарування мірної стрічки обчислюється за формулою

$$\delta_k = \frac{l - l_0}{l_0} S,$$

де l_0 – номінальна довжина мірної стрічки, l – фактична довжина мірної стрічки.

Поправка за температуру обчислюється як

$$\delta_t = \alpha (t - t_k) S,$$

де $\alpha = 0,0000125$ – коефіцієнт лінійного розширення сталі; t - температура, при якій виконуються вимірювання; t_k - температура, при якій проводилось компарування стрічки.

При виміряних кутах нахилу v поправку за нахил місцевості обчислюють за формулою

$$\delta_{v,h} = 0,5 S \sin^2 v,$$

А при виміряному перевищенні

$$\delta_{v,h} = \frac{h^2}{2S}$$

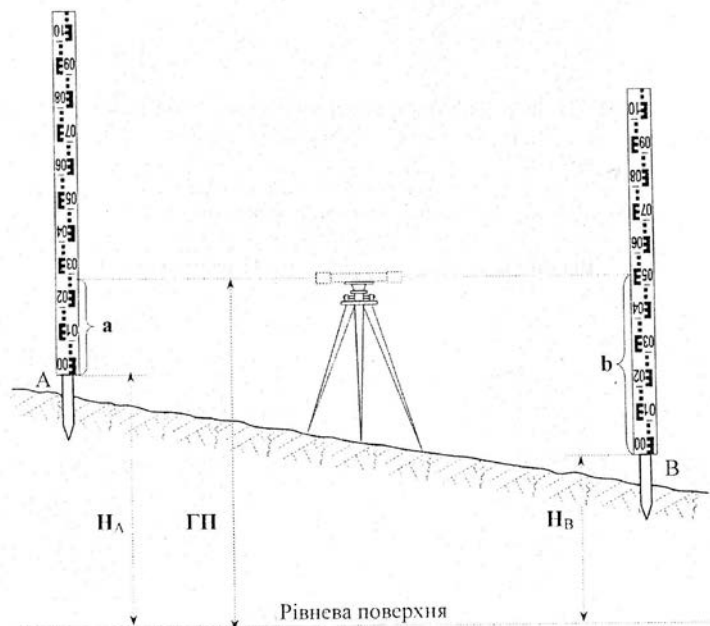
Винесення в натуру проектної відмітки здійснюється від найближчих реперів. Для цього нівелір встановлюють посередині між репером і точкою **В** (рис.8.6). Приводять нівелір в робочий стан і беруть відлік a по чорній стороні рейки, встановленій на репері в точці **А**.

Обчислюють горизонт приладу

$$\text{ГП} = H_{\text{рпА}} + a.$$

Щоб встановити проектну відмітку в точці **В**, треба знайти відлік b по рейці в точці **В**

$$b = \text{ГП} - H_{\text{пр.В}}$$



6. Спостереження за деформаціями

Деформації споруд виникають внаслідок дії на них різних природних і антропогенних (техногенних) факторів. Деформації ускладнюють нормальну експлуатацію споруд і знижують їх довговічність.

На деформацію споруди впливають три основні фактори:

- Зміна властивостей гірських порід, тобто здатність порід до просідання (залежить від їх пористості), спучування (при замерзанні водонасичених порід), зсувів;
- Властивості фундаменту (вага, форма, розміри, розподіл навантаження на його основу);
- Зміна умов експлуатації (зміни тиску на основу, викликані надбудовою або спорудженням поруч нової споруди, вібрація фундаменту в зв'язку з роботою машин, механізмів або руху транспорту).

Деформація споруд характеризується осіданням, тобто переміщенням споруди або її частин вниз, підйомом або спучуванням, тобто переміщенням вверх, горизонтальним зміщенням або зсувом – переміщенням в бік, креном споруди, скрутом, відносним прогином, тріщинами тощо.

Креном споруди в будівництві називають відхилення її вертикальної осі від прямовисного положення. Він виникає від нерівномірного просідання фундаменту, в наслідок чого споруда нахилиється. Найбільш поширені способи визначення крену – це

спосіб координат, вертикального проектування, кутів. Крен фундаменту – це відхилення площини його основи від горизонтального положення.

Прогином називають вигинання конструкції випуклістю вниз. Вигином – випуклістю вверху.

Геодезичні спостереження за деформаціями споруд, їх основою і окремими частинами конструкцій в процесі будівництва виконуються згідно технічного завдання, яке складає проектна організація з врахуванням призначення споруди та інженерно-геологічних вишукувань.

В технічному завданні вказують:

- частини споруди, за якими необхідно вести спостереження;
- розміщення вихідних геодезичних пунктів;
- періодичність спостережень;
- точність спостережень;
- перелік звітних документів.

Вертикальні зміщення (осідання, підйоми) визначають відносно вихідних реперів одним із методів або їх комбінацією:

- геометричним нівелюванням;
- тригонометричним нівелюванням;
- гідростатичним нівелюванням;
- фотограмметричним методом.

Горизонтальні зміщення (зсуви) визначають відносно геодезичних пунктів, що знаходяться за межами споруди наступними методами:

- GPS;
- створних вимірів, засічок;
- триангуляції, трилатерації, полігонометрії;
- фотограмметрії.

8. Знімання підземних комунікацій

Знімання підземних комунікацій – це знімання інженерних мереж та інженерного обладнання для опрацювання проектів їх розширення і реконструкції, врахування їх положення під час будівельних робіт.

Мережі підземних комунікацій складаються з трубопроводів, кабельних ліній та колекторів. Трубопроводи поділяються на водопроводи, каналізацію, теплопроводи, газопроводи та мережі спеціального призначення, наприклад нафтопроводи; кабельні лінії - на лінії електропередач, лінії зв'язку.

Шукач підземних комунікацій – прилад для визначення планового і висотного положення підземних комунікацій, що ґрунтується на принципі індукції (низько- та високочастотної, вихрової), аномалеметрії та акустики.

В індуктивному способі положення підземної комунікації визначають виявленням змінного магнітного поля, яке штучно створюється навколо провідника, що досліджується. Похибка визначення планового і висотного положення складає 0,1-0,2м і залежить від типу приладу, вологості ґрунту, наявності сусідніх мереж.

В аномалеметричних (радіохвильових) шукачах підземних комунікацій визначають аномалію електромагнітного поля в місцях розташування трубопроводу (підземної порожнечі). Похибка методу 0,2-0,3м.

